

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Diplomová práce

2011

Bc. Miroslav Pinka

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Měření vibrací v malých vzdálenostech od zdroje při
realizaci geotechnických staveb**

**Near zone measurements of vibrations during construction
of geotechnical structures**

Student:

Bc. Miroslav Pinka

Vedoucí diplomové práce:

prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc

Ostrava 2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Anotace:

Hlavním cílem mé diplomové práce je získání útlumových křivek technické seizmicity pocházejících z terénního měření reálných geotechnických prací. Před polním měřením jsem vypracoval rešerši dosavadních publikovaných znalostí. Vymyslel jsem a popsal metodiku měření a vyhodnocování získaných hodnot. Při měření na stavbách jsem získal potřebné hodnoty, které jsem zpracoval do útlumových křivek. Získal jsem geologické prostředí jednotlivých měřených lokalit. Provedl jsem vyhodnocení naměřených výsledků podle normy. Výsledkem mé diplomové práce jsou útlumové křivky odpovídající jednotlivých měřeným stavenišťům, koeficienty absorpce a rovnice útlumu.

Abstract:

The main aim of my thesis is to obtain attenuation curves of technical seismicity derived from a in-situ measurement of real geotechnical constructions. I had carried out a research into existing published knowledge before the in-situ measurement. I created and described methodology for measuring and evaluation of the obtained values. During the site investigation I gained the necessary values that I have worked in the attenuation curves. I obtained the geological environment of particular investigated sites. According to standards I evaluated results of my measurement. The results of my thesis are attenuation curves corresponding with measured building sites, the coefficients of absorption and attenuation equations.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. RNDr. Zdenku Kalábovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Stavbyvedoucím staveb, na kterých probíhala měření, konkrétně se jedná o pana Návrata, Ing. Škoríka a Ing. Redku za umožnění přístupu a měření na staveništích. Ing. Martinu Stolárikovi za cenné rady a pomoc při měření. RNDr. Renatě Kachlíkové za poskytnutí vrtných průzkumů z archivů geofondu.

Diplomová práce byla realizována za finančního přispění MŠMT ČR specifického výzkumu SP2011/37 „Využití matematického modelování při studiu chování geotechnických konstrukcí (2. etapa)“

Seznam použitého značení:

E	Youngův modul pružnosti v tahu a tlaku
R	Součinitel spolehlivosti
SWIP	Seismic Waves Interpretation Program
α	Koeficient absorpce
ν	Poissonovo číslo

Obsah diplomové práce:

1. Úvod.....	1
2. Základní teze.....	3
3. Rešerše.....	4
3.1. Přehled literatury zabývající se technickou seizmicitou.....	4
3.2. Šíření seizmických vln.....	6
3.3. Vliv geologické stavby na seizmické vlny.....	10
4. Systematika měření.....	12
4.1. Vzdálenost.....	12
4.2. Čas.....	13
4.3. Přístrojové vybavení.....	13
4.4. Měření vzdálenosti.....	15
4.5. Softwarové vybavení pro zpracování seizmických dat.....	15
5. Vyhodnocení záznamu.....	17
6. Experimentální měření.....	23
6.1. Měřené stavby.....	23
6.2. Všeobecná geologie Ostravy.....	24
6.3. Novostavba obchodního centra na ulici 17. listopadu v Ostravě Porubě....	24
6.4. Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower.....	28
6.4.1. Porovnání výsledků při měření první a druhé fáze.....	33
6.5. Experimentální měření na FAST Ostrava.....	35
6.6. Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa.....	41
7. Celkové zhodnocení.....	41
8. Vyhodnocení podle ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva.....	44
9. Závěr.....	51

10. Seznam obrázků.....	54
11. Seznam tabulek.....	55
12. Seznam grafů.....	56
13. Seznam použité literatury a podkladů.....	57
13.1. Nařízení vlády.....	57
13.2. Normy.....	57
13.3. Literatura	57
13.4. Internetové podklady.....	58
14. Seznam příloh.....	60

1. Úvod

Cílem mé diplomové práce je získat a vyhodnotit naměřená seizmická data vibrací vznikajících při provádění geotechnických staveb. Jedná se o práce na úpravě zeminového nebo horninového masivu nebo zeminových vrstev, jako je hutnění zemin, zavibrování pilot a štětovnic nebo trhací práce.

Vibrací se nazývá děj, při kterém horninovým masivem, jeho částí nebo na něm stojícím objektem prochází energie a vyvolává pohyb. A to pohyb takový, že jednotlivé části oscilují kolem své rovnovážné polohy. Čas trvání nepříznivého vlivu technické seismicity a jeho intenzita jsou různé a záleží na zdroji. Zdroje mohou působit jen krátký okamžik, ale svou intenzitou mohou vyvolat poškození objektu a šířit se na velké vzdálenosti, jako například technické odstřely nebo naopak mohou být v porovnání s předchozím málo intenzivní, ale svým delším působením mohou nepříznivě ovlivnit vnímání člověka. Takovým zdrojem se může stát například automobilová doprava.

Vibrace nepříznivě ovlivňují lidský organismus. Působí negativně jak na fyzické zdraví, tak na psychickou pohodu člověka. Vnímání vibrací je u každého člověka individuální a záleží také na době trvání, denních či nočních hodinách, vykonávané činnosti, zdravotním stavu a dalších faktorech. Aby se vliv vibrací na člověka dal objektivně posoudit, jsou jejich maximální přípustné hodnoty uvedeny v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [1].

Cílem mé diplomové práce je však posoudit nikoliv vliv vibrací na lidský organismus, ale naměřit a zpracovat data, která budou vhodná k posuzování nepříznivého vlivu vibrací na stavební konstrukce nebo na speciální stroje a zařízení umístěné v objektech. Při posuzování staveb a zařízení se zkoumají seizmické vlivy, které mohou vznikat přirozeně nebo tzv. technicky. Přirozená seismicity je nejčastěji reprezentována zemětřeseními nebo otřesy vzniklými při vulkanické činnosti. Aby byl její vliv na objekty objektivně hodnocený je vydána technická norma ČSN EN 1998 Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení [2].

Má diplomová práce je však zaměřena na měření seismicity technické. Touto problematikou se zabývá norma ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva [3]. Tato norma podává návod na hodnocení vlivu vibrací

na objekty. Vzhledem k proměnlivé, často složité geologii prostředí a různým druhům zdrojů je hlavním zdrojem informací měření in situ. Pokud se tedy předpokládá u stavby větší riziko ze strany seizmicity, realizují se před výstavbou, během ní i po jejím skončení terénní měření. Cílem mé diplomové práce je získat data přímo v terénu a zpracovat je do podoby, která bude využitelná pro budoucí procesy posuzování objektů.

2. Základní teze

Před započítím experimentálních měření jsem vypracoval rešerši článků a literatury týkající se obdobného měření maximálních hodnot vibrací vyvolaných technickou seizmicitou. V rámci této rešerše je také vypracována kapitola se stručným shrnutím fyzikálních principů šíření seizmických vln, jejich průběhů, rozdělením na jednotlivé druhy, s přihlédnutím k problematice ovlivnění šíření vln při průchodu reálným horninovým prostředím.

Vypracoval jsem a popsal systematiku měření, kterou používám pro získání reálných hodnot vibrací odpovídající navštíveným stavbám a geologickému prostředí, na němž jsou realizovány. Hodnoty jsou získány pomocí příslušného přístrojového a počítačového vybavení. S měřícím zařízením jsem se seznámil při vypracovávání své bakalářské práce: Vliv ustavení seizmického senzoru na kvalitu odečítaných hodnot [4], kterou jsem obhájil v roce 2010. Další část diplomové práce tvoří popis měření, jež jsem realizoval při provádění výstavby různých stavebních objektů. Provedené experimentální měření je vyhodnoceno a z něj je vypracován graf útlumové křivky odpovídající příslušné měřené aktivitě a geologickému profilu poskytnutému na stavbě.

Závěrem mé diplomové práce jsou přehledné grafy útlumových křivek. Tyto grafy je možno v budoucnu použít k předběžné predikci vibrací vzniklých při realizaci obdobných geotechnických prací. Pomocí křivek získaných z naměřených hodnot jsem provedl posouzení podle normy. Další částí závěru je vyhodnocení zvolených postupů měření a případné návrhy na změny systematiky, jež slouží ke zlepšení dosažených výsledků a jako zpětná vazba celé diplomové práce.

3. Rešerše

3.1. Přehled literatury zabývající se technickou seizmicitou

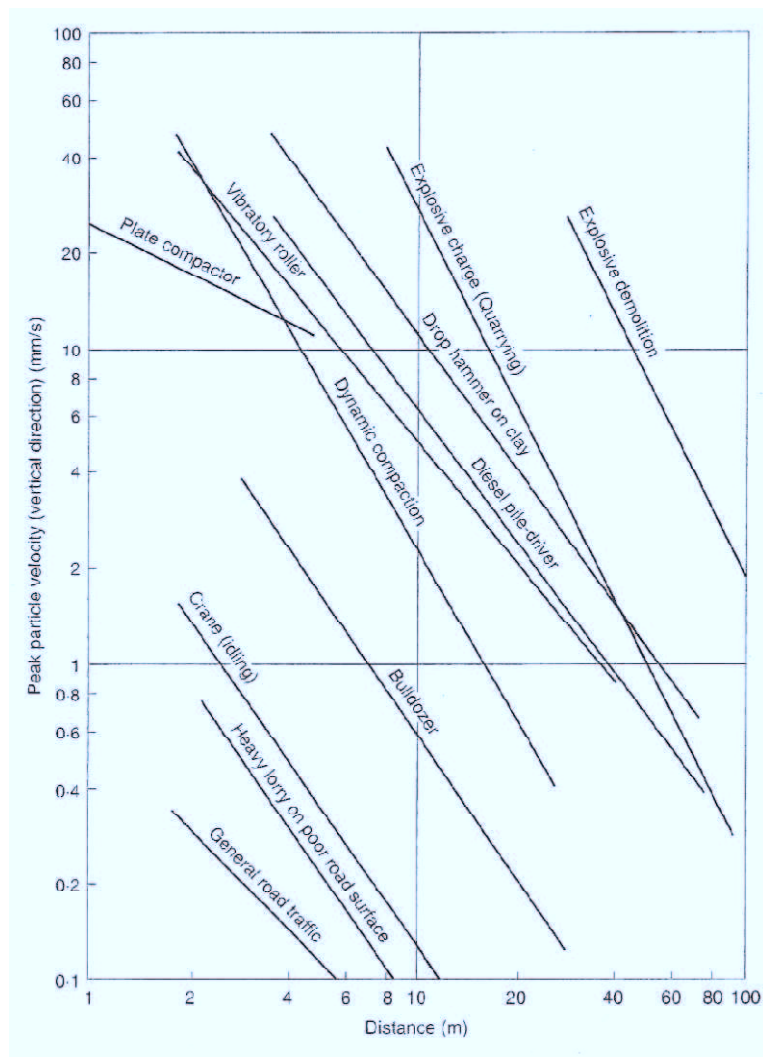
Základní normou platnou v době odevzdání mé diplomové práce je ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. Norma je rozdělena na šest částí. Na úvod jsou uvedeny dvě části týkající se předmětu normy, termínů, definic a značek. Dále jsou popsány součinitele spolehlivosti, které jsou použity pro posouzení konstrukcí vystavených seizmickým zatížením a jejich kombinace. Čtvrtá část normy se zabývá popisem zatížení. Jsou zde uvedeny dominantní frekvence od jednotlivých druhů technické seizmicity. Také je zde tabulka s informativními hodnotami modulu pružnosti E pro jednotlivé druhy základové půdy použitelné pro výpočtové modely. Na závěr části je popsán vliv horninového prostředí a pokryvných útvarů na seizmické vlny. V páté kapitole s názvem: Odezva a její posouzení jsou popsány podmínky výpočtových modelů a určení referenčního stanoviště. Nejdůležitější je posouzení odezvy. Jako první je zde popsáno posouzení délky trvajícího rázového zatížení popř. ustáleného periodického zatížení a tabulka Mezních hodnot efektivních rychlostí. Pokud nebudou tyto rychlosti na referenčním stanovišti dosaženy, není třeba dynamickou odezvu posuzovat. Posuzované budovy jsou zde rozděleny podle třídy významu a třídy odolnosti objektu. Když by nebylo možné získat hodnoty rychlosti na referenčním stanovišti nebo přímým měřením, je v normě uvedena tabulka s informativními vzdálenostmi od zdroje technické seizmicity. Při větší vzdálenosti zdroje od objektu není pravděpodobné, že by došlo k poškození objektu. Pro posouzení odezvy objektů od vibrací způsobených technickými odstřely slouží informativní tabulka závislosti stupně poškození na maximální rychlosti kmitání, na druhu objektu a na základové půdě. Stupně poškození se dělí na šest tříd a to od vyloučení poškození objektu až po úplnou destrukci. Tento stupeň se určí před zahájením trhacích prací. Z tabulky lze vyčíst velikosti výchylky, rychlosti, případně zrychlení, při kterém nastane povolené poškození objektu. Tato velikost je závislá na stupni odolnosti objektu, druhu základové půdy a frekvenci posuzované trhací práce. V normě jsou základové půdy rozděleny do tří kategorií. Zatřídění je realizováno podle hodnoty výpočtové únosnosti a hloubky hladiny podzemní vody. Dále se v normě nachází posouzení odezvy na stroje a strojní zařízení a na nadzemní nádrže s vodou. Poslední kapitola normy se věnuje specifikaci experimentálního ověřování zatížení a odezvy.

Problematikou měření technické seizmicity se zabývá několik článků a publikací. V článku „Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou“ [5] je řešena obdobná problematika jako v mé diplomové práci. Na rozdíl od mé práce nebylo předmětem článku vypracovat útlumové křivky ani popis geologické situace na místě experimentálního měření. Další příklad měření technické seizmicity lze nalézt v publikaci „Seizmická měření v geotechnice“ [6]. Zde je publikováno měření seizmického efektu vyvolaného beraněním pilot.

Zdrojem technické seizmicity nejvíce ohrožujícím okolní budovy jsou trhací práce. Proto se také problematice měření a posuzování vlivu trhacích prací věnuje většina publikovaných článků. Ve výše uvedené publikaci „Seizmická měření v geotechnice“ je podkapitola věnující se popisu experimentálního měření při realizaci podzemní kanálové přípojky na ulici Turnovská v Praze. Dalším článkem zabývajícím se experimentálním měření vlivu trhacích prací je „Seizmická odezva trhací práce na ražených tunelech stavby 514 Lahovice-Slivenec“ [7].

Prováděním experimentálním měření a popisem různých aparatur se zabývá kapitola ve skriptech „Geotechnický monitoring“ [8]. Prováděním měření pro účely praxe provádí například firma INSET [12]. Některé závěrečné zprávy jsou volně dostupné na internetu jako například: „Znalecký posudek č. 07016 Veselí nad Moravou, posouzení statiky bytových domů na sídlišti Chaloupky vlivem dopravy na silnici I/54 v přeložené poloze“ [13]. Při studiu dokumentu lze získat příklad o posuzování technické seizmicity v praxi.

Ucelený pohled na problematiku technické seizmicity v geotechnice přináší kapitola v publikaci „Environmental Geotechnics“ [9]. Součástí je grafické znázornění (obr. 1) očekávaných rychlostí kmitání od různých geotechnických prací v závislosti na vzdálenosti od zdroje. Má diplomová práce má za cíl přinést obdobné grafické znázornění. V rámci práce nebude postiženo tolik prací, ale na rozdíl od publikace bude uvedena i geologická specifikace měřených lokalit.



Obr. 1 Vibrace od typických geotechnických prací [zdroj: *Environmental Geotechnics* [9]]

3.2. Šíření seizmických vln

Seizmické vlny při průchodu reálným horninovým prostředím se chovají obdobně jako elastické vlnění v dokonale pružném prostředí. V pružném nebo taky elastickém prostředí se po odeznění zatížení, jenž způsobí jeho deformaci, vrátí do původního stavu. Tento stav je popsán pomocí tzv. Hookova zákona. V něm je definován vztah mezi napětím a deformací. Napětí je přímo úměrné součinu poměrného přetvoření a Youngova modulu pružnosti. Jedná se o lineární závislost deformace a napětí. Pokud bychom si vztah vynesli graficky, pak přímková závislost by byla jen po dosažení napětí na mezi pružnosti. Po jejím překročení již nastává u materiálu plastické chování. Při plastickém chování se po odlehčení již deformace nevrací na nulovou hodnotu, ale zastaví se na určité hodnotě, kterou nazýváme trvalá

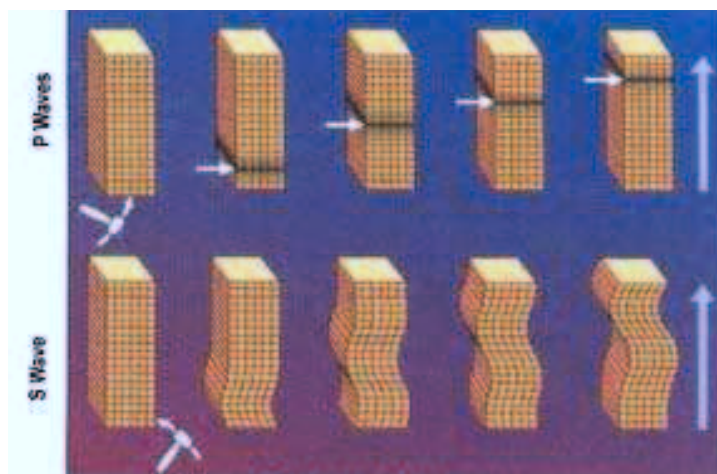
deformace. Pokud bychom napětí dále zvětšovali, dostaneme napětí na mezi pevnosti a následně napětí na mezi destrukce, při kterém dochází k dezintegraci vazeb v materiálu. Grafické znázornění těchto jevů se nazývá pracovní diagram materiálu.

Pružné chování jednotlivých prostředí se popisuje pomocí dvou parametrů. V běžné fyzikální interpretaci se nejčastěji používají tzv. Laméovy parametry. Tyto bezrozměrné veličiny jsou označeny jako λ , jenž vyjadřují změnu objemu a μ pro vyjádření modulu smyku. V technické praxi je však mnohem důležitější Youngův modul pružnosti v tahu a tlaku E [MPa] a Poissonovo číslo ν [bezrozměrné].

V dokonale pružném prostředí (homogenní a izotropní) se přenáší impulzy pomocí dvou druhů deformace. Prvním z nich jsou deformace objemové a druhým jsou přetvoření střížná. Příslušnou deformaci prostředí potom vyvolá kombinace obou. Pokud do pružného prostředí vneseme krátkodobě působící sílu, uvedeme částice prostředí do pohybu. Pohyb bude časově proměnný a projeví se oscilací okolo klidové osy. Vlivem pohybu jednotlivých částic se bude v jejich okolí měnit napětí a tak se pohyb přenesení i na okolní částice. Vznikne jev zvaný elastická vlna, který se šíří od zdroje všemi směry. Podle charakteru kmitání dělíme vlny na podélné a příčné. Vlny se šíří celým homogenním prostředím, a proto je také nazýváme vlny objemové.

Podélná vlna se šíří ve směru pohybu elastické vlny. Jedná se o objemovou deformaci prostředí způsobenou přibližováním a oddalováním jednotlivých částí okolí vlivem kmitání elementů okolo rovnovážného stavu. Jedná se o nejrychlejší druh elastického vlnění, a proto se také označuje jako primární nebo P-vlna. (obr. 2)

Příčná vlna vyvolá na rozdíl od vlny podélné tvarové deformace. Při jejím průchodu prostředím se jednotlivé vrstvy vzájemně posouvají kolmo na směr působení vlny. Rychlost šíření podélných vln je asi 1,4 krát větší než li vln příčných, a proto se nazývají vlny sekundární nebo také S-vlny. (obr. 2)



Obr. 2 Grafické znázornění P-vln a S-vln [zdroj: earthquake.usgs.gov [14]]

V homogenním prostředí se tyto dvě vlny šíří od místa působení síly všemi směry. Rychlost šíření jednotlivých vln odpovídá výše popsaným fyzikálním vlastnostem příslušného prostředí. Při pozorování jednotlivých elementů prostředí bychom mohli rozeznat čelo vlny a tyl vlny. Čelo se nachází v oblasti, kde jednotlivé částice již přijaly část energie vlny a začínají kmitat okolo rovnovážné osy. Za postupného utlumování kmitání se částice přesune do tylu vlny, kde již nedochází k dalším pohybům.

Takovéto homogenní prostředí se však v přírodě vyskytuje jen velmi málo, a to i při jisté míře idealizace. Jako příklad může posloužit jednolitá hlubinná hornina, kterou ale také musíme chápat pouze v ohraničeném prostředí.

Dalším idealizovaným prostředím, které lze najít v přírodě je oblast s gradientem rychlosti. Jedná se o takovou zónu, kde se rychlost šíření vln mění spojitě v závislosti na hloubce. Jako příklad poslouží buď sedimentační pánve, nebo zvětralé horniny při povrchu. Rychlost zde ovlivňuje hydrostatický tlak a intenzita sedimentace, případně zvětrávání.

Vrstevnaté prostředí se vyskytuje nejčastěji. Zjednodušeně si ho lze představit jako prostředí o určitém počtu vrstev, pod kterými se nachází pružný poloprostor. Každé vrstvě přísluší mocnost, hustota a fyzikální vlastnosti ovlivňující rychlost šíření vln. Tyto vrstvy jsou od sebe odděleny seizmickými rozhraními. Právě v takovémto prostředí budou probíhat má experimentální měření v rámci diplomové práce. Jelikož se vlastnosti vrstev navzájem liší, bude na rozhraních docházet ke vznikům lomů a odrazů. Při nárazu vlny na rozhraní se část její energie odrazí zpět do původního prostředí a zbývající část energie projde do vedlejšího

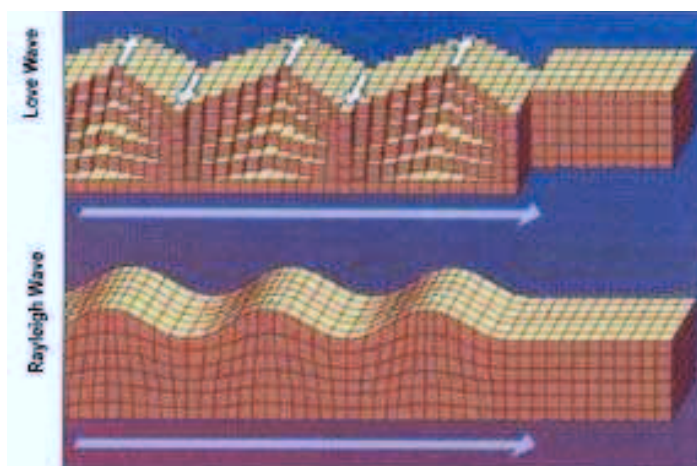
prostředí již pod jiným úhlem (tzv. paprskové pojetí). Při průchodu rozhraním vzniknou vždy čtyři druhy vln. Dvě budou stejného typu jako vlna dopadající a zbývající dvě budou transformovány do jiného druhu než vlna dopadající.

Pokud se vlastnosti jednotlivých prostředí významně liší a navíc je ještě druhé prostředí užší než délka vlny, pak dojde k odrazu vlny všemi směry. Tento jev nazýváme difrakce a příslušné prostředí se poté chová jako nový zdroj vlnění.

Při průchodu vlnění rozhraním vznikají i tzv. povrchové vlny. Ty se, na rozdíl od výše popsaných vln objemových, šíří podél rozhraní a ne celým objemem horniny. Povrchových vln existuje několik druhů. Pro měření seizmicity a technickou praxi mají však největší význam vlny Rayleighovy a Loveho.

Loveho vlny vznikají, pokud je pod povrchovou vrstvou ještě druhá vrstva. V povrchové vrstvě o určité mocnosti při průchodu vlny dojde ke kmitání elementů prostředí kolmo na směr vlny v horizontální rovině. (obr. 3)

Při průchodu Rayleighovy vlny se jednotlivé vlny pohybují po dráze ve tvaru elipsy ve vertikální rovině, která je rovnoběžná se směrem vlny. Nejčastějším příkladem jsou mořské vlny. (obr. 3)



Obr. 3 Grafické znázornění Rayleighových a Loveho vln [zdroj: earthquake.usgs.gov [14]]

3.3. Vliv geologické stavby na seizmické vlny

Rychlosti šíření seizmických vln jsou závislé jak na fyzikálních vlastnostech horninového prostředí, tak na uspořádání jednotlivých vrstev a poměrech na jejich kontaktech. Schopnost šíření záleží hlavně na litologickém složení horniny, podmínkách vzniku, vývoji a následném uložení hornin. Rychlost (tab. 1) nejvíce ovlivňují jejich elastické parametry tj. Youngův modul pružnosti v tahu a tlaku a Poissonovo číslo. Menší vliv má také objemová hmotnost dané horniny. Seizmické vlny se přenášejí hlavně skeletem horniny, ale záleží také na výplni pórů. Mezi pórovitostí a šířením vln je nepřímá úměra: čím má hornina menší pórovitost, tím má větší rychlost vln. Obdobně, je-li výplň pórů tvořena vodou, ropou nebo jiným kapalným médiem, vlny se šíří rychleji, než pokud jsou póry vyplněny plynem. S pórovitostí je spojen také tlak, kterému byly horniny vystaveny. Čím větší byl v minulosti tlak, tím menší je pórovitost dané horniny. Mezi dalšími ovlivňujícími faktory můžeme jmenovat například cementaci nebo metamorfní procesy. Rychlosti šíření vln v jednotlivých hlubinných horninách je dobře prozkoumána. Seizmické vlny vyvolané velkými zdroji jako jsou zemětřesení nebo jaderné exploze se již delší dobu používají ke studiu planety.

Hornina	Rychlost šíření podélné vlny [m.s ⁻¹]
Peridorit	6 500 – 7 000
Gabro	6 000 – 6 500
Granit	4 000 – 6 000
Metamorfované horniny	4 000 – 6 600
Anhydrit, Kamenná sůl	4 500 – 6 000
Vápenec, Dolomit	2 600 – 6 500
Pískovec, Jílovec	1 500 – 4 500
Voda	1 430 – 1 590
Saturovaný písek	600 – 1 300
Suchá jílovitá zemina	300 – 900
Zvětralé vrstvy, štěrk, písek	150 – 600

Tab. 1 Rychlosti šíření vln v horninách [zdroj: Úvod do užité geofyziky[10]]

Pokud se horniny během svého vývoje dostanou k povrchu, působí na ně atmosférické vlivy a následná dezintegrace vazeb vlivem zvětrávání. Ve zvětraných horninách pokryvu klesá rychlost šíření vln vlivem různorodosti tvarů, složení a pórovitosti. Pokryvné zeminy

se proto v seizmické literatuře také nazývají vrstva malých rychlostí. A právě na této vrstvě se realizuje většina stavebních prací, a proto je také oblastí zájmu mé diplomové práce.

Při průchodu vlnění reálným geologickým prostředím dochází k útlumu seizmických vln. Reálné prostředí není dokonale pružné. Vlivem toho se část kinetické energie procházející seizmické vlny transformuje do energie tepelné. Další tlumení je zapříčiněno třením jednotlivých zrn o sebe při postupu vlny. Útlum se netýká jen rychlosti seizmické vlny, ale postihuje i její amplitudu a spektrum. Amplituda klesá exponenciálně v závislosti na vzdálenosti zdroje. Tuto závislost lze vyjádřit vztahem:

$$A=A_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (1)$$

kde A je amplituda vlny odpovídající vzdálenosti od zdroje x , A_0 je amplituda vlny ve vzdálenosti 0 od zdroje, a α je koeficient absorpce. Ten je přímo úměrný frekvenci dané seizmické vlny a míře zpevnění horniny během jejího litologického vývoje. Čím větší je zpevnění, tím se charakter horniny více blíží dokonale elastickému prostředí, a proto se hodnota koeficientu snižuje.

Pro popis teoretických znalostí o seizmických vlnách jsem vycházel z literatury: Úvod do užité geofyziky [10] a z internetových stránek earthquake.usgs.gov [13].

4. Systematika měření

Pro stanovení útlumových křivek vyvolaných vibrací jsem prováděl experimentální měření na různých stavbách. Byla využita aparatura měřící rychlost kmitání (v souladu s ČSN 73 0040). Při měření vibrací na stavbách je nutné měřit vzdálenost zdroje od senzoru měřící aparatury. Další důležitá zaznamenávaná veličina je čas průjezdu zdroje v měřené vzdálenosti. Tento čas je podstatný pro následné vyhodnocení zaznamenaného signálu.

4.1. Vzdálenost

Při určování vzdálenosti zdroje vibrací a senzoru je určující nejkratší vzdušná délka při projíždění vibračního válce. Při každém průjezdu válce jsem změřil vzdálenost pomocí laserového dálkoměru Leica Disto A6. K této vzdálenosti jsem si zaznamenal příslušný čas průjezdu, abych mohl při vyhodnocování přiřadit správné hodnoty. Při měření seizmických vln vyvolaných vibračním válcem působí tento válec v celé ploše svého kontaktu se zeminou. (obr. 4)



Obr. 4 Vzdálenost senzoru od zdroje [zdroj: foto autor]

Z obrázku je patrné, že měření neprobíhalo bodově, ale plošně. Při kontaktu s podkladem však převládá jeden rozměr, a proto je možno hovořit i o liniovém zdroji. Při určování vzdálenosti senzoru od zdroje jsem zvolil nejkratší vzdálenost mezi senzorem a okrajem válce. Jako odrazovou plochu pro měření laserovým paprskem jsem zvolil nosný

ráme válce (obr 4). Laserový dálkoměr zobrazuje naměřené hodnoty na tři desetinná místa. V rámci mé diplomové práce jsem však zvolil záznam na dvě desetinná místa. Naměřené hodnoty jsou proto zaokrouhlovány na centimetry. Při hledání vhodného místa na umístění senzoru je vedle bezpečnosti práce nutno dbát také na ideální vzdálenost senzoru od zdroje vibrací. Pokud se senzor umístí v příliš malé vzdálenosti, budou naměřené hodnoty mimo rozsah stupnice aparatury a takto naměřená data nebudou použitelná.

4.2. Čas

K zaznamenávání času, ve kterém byla dosažena měřená vzdálenost, jsem používal běžné hodinky, u kterých jsem si před měřením kontroloval časovou synchronizaci s časem používaným satelity GPS, jež je používán v seizmické aparatuře. Zaznamenaný čas sloužil při vyhodnocování signálu ve výpočtovém programu jako ukazatel pro přiřazení příslušné zaznamenané vzdálenosti a odečtené rychlosti.

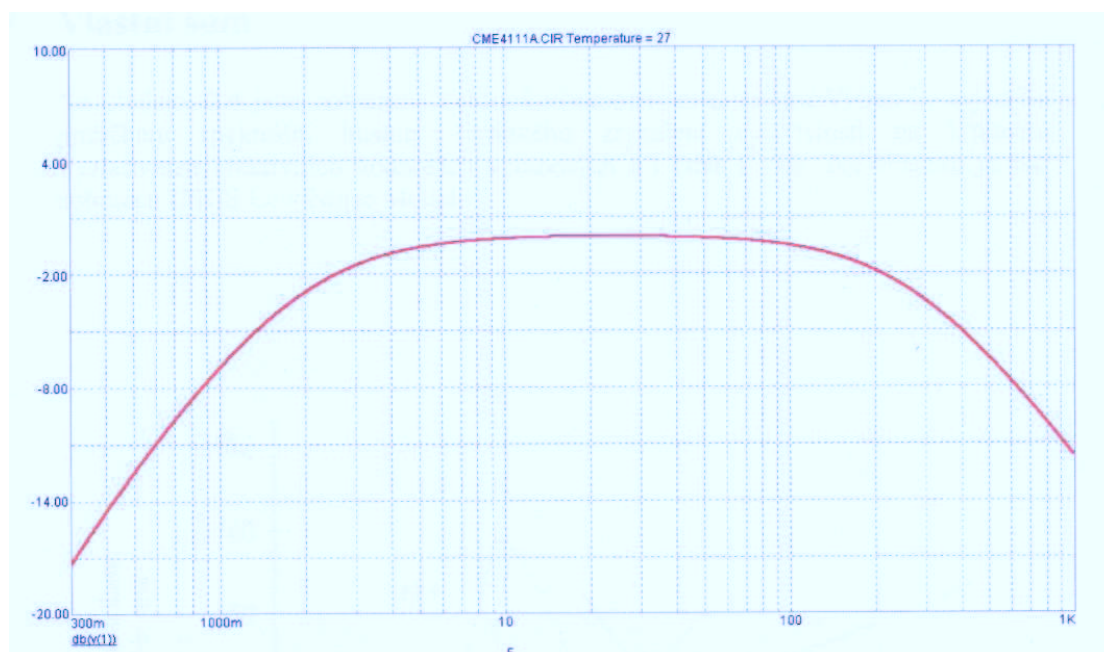
4.3. Přístrojové vybavení

Při zaznamenávání vibrací jsem používal seizmickou aparaturu Gaia2 se senzorem ViGeo2 (obr. 5). Obě dvě části vyrábí firma Vistec Praha. Gaia2 je tříkanálová seizmická stanice s dynamickým rozsahem 138dBp-p s možností spouštěného i kontinuálního záznamu digitálních dat. Časová synchronizace je zajištěna pomocí modulu GPS. Uložení záznamu dat se provádí na CompactFlash disky.



Obr. 5 Seizmická aparatura Gaia2a Senzor ViGeo2 [zdroj: foto autor]

ViGeo2 je kompaktní, aktivní, krátkoperiodický, třísložkový, rychlostní senzor. Jedná se o senzor použitelný pro terénní i staniční měření. Senzor obsahuje tři mechanické kmitavé systémy (snímače) s vlastní frekvencí 2 Hz, frekvenční rozsah je od 2 Hz do 200 Hz. Frekvenční charakteristika senzoru ViGeo2 je znázorněna na obrázku 6.



Obr. 6 Frekvenční charakteristika senzoru ViGeo 2 [zdroj: Vistec, Praha]

4.4. Měření vzdálenosti

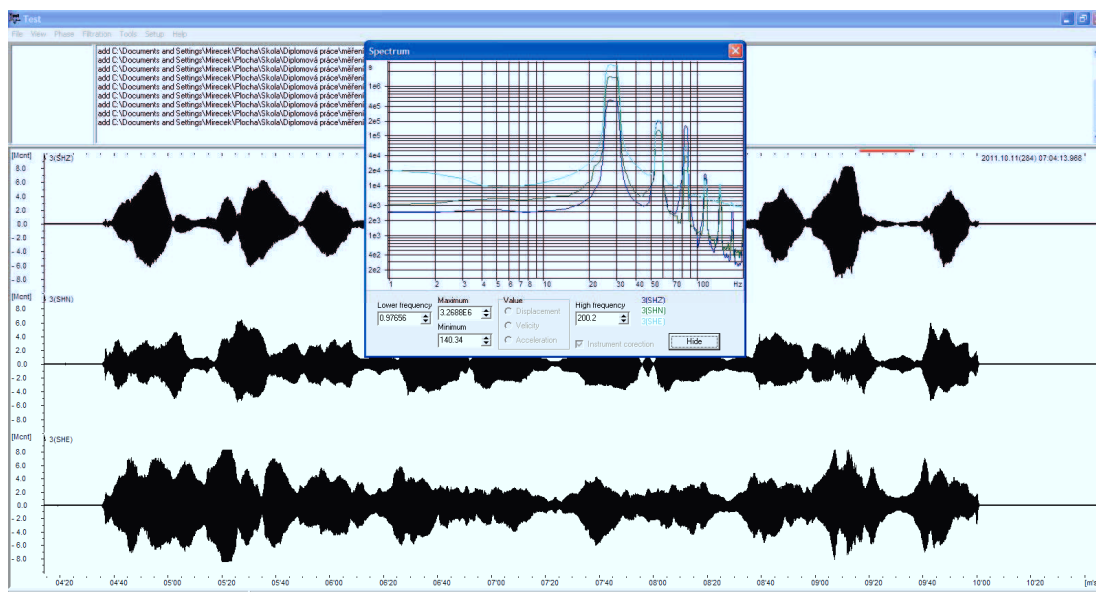
Pro měření vzdálenosti senzoru a zdroje byl použit laserový dálkoměr Leica Disto A6 (obr. 7). Dálkový dosah přístroje se pohybuje od 0,05 do 200 m. Přesnost jeho měření je $\pm 1,5$ mm, do vzdálenosti 30 m. Po překročení této vzdálenosti je doporučeno použít odrazový terčík. Bez jeho použití vzroste nepřesnost měření na ± 10 mm. [15] Pokud nebyl k dispozici laserový dálkoměr, bylo alternativně používáno k měření vzdálenosti klasické ocelové pásmo.



Obr. 7 Laserový dálkoměr Leica Disto A6 [zdroj: foto autor]

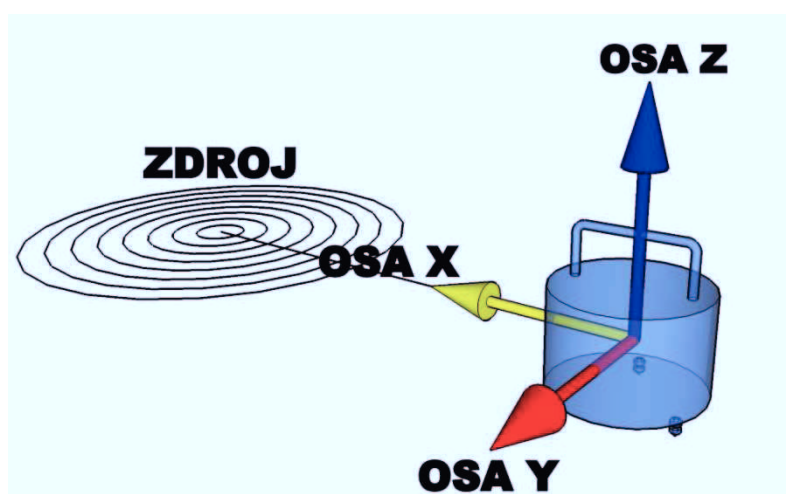
4.5. Softwarové vybavení pro zpracování seizmických dat

Ke zpracování seizmických dat byl použit program SWIP (Seismic Waves Interpretation Program). Toto softwarové vybavení se standardně dodává firmou Vistec Praha k aparaturám Gaia (obr. 8). Program umožňuje zpracovávat seizmický signál jak v amplitudové, tak ve frekvenční oblasti. V amplitudové oblasti tento software neumožňuje přepočtení hodnot amplitud kmitání na standardní fyzikální jednotky soustavy SI [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$], proto jsou ve všech obrázcích vlnových obrazů svislé osy vyneseny v kvantovacích úrovních [cnt].



Obr. 8 Příklad zobrazení záznamu programem SWIP v amplitudové i frekvenční oblasti [zdroj: foto autor]

Při zobrazení pomocí programu SWIP jsou osy popsány jako A3Vig (SHN), A3Vig (SHZ), A3Vig (SHE). Pro zpřehlednění jednotlivých výsledků je vhodné zavést jednotné značení os. Na obrázku 9 je uveden schematický pohled na orientaci os uvnitř senzoru. Pro zjednodušení jsou osy rozlišeny barevně. Osa, která směřuje ke zdroji, je znázorněna žlutou barvou, v programu je označena A3Vig (SHN), a pro zjednodušení bude dále v textu označována jako OSA X. Osa ve směru tíhového zrychlení je znázorněna modrou barvou, označuje se jako A3Vig (SHZ) a dále v textu bude pojmenována OSA Z. Jako OSA Y budu označovat osu A3Vig (SHE), na schématu je znázorněna červeně.



Obr. 9 Grafické znázornění směru os senzoru [zdroj: autor]

5. Vyhodnocení záznamu

U zaznamenaných hodnot jsou vyhodnocovány jejich maximální hodnoty odpovídající příslušné naměřené vzdálenosti. Tyto hodnoty byly vyneseny do grafu. Na vertikální ose jsou vyneseny velikosti rychlosti kmitání v mm.s^{-1} a na horizontální ose je vzdálenost od zdroje v m. Pokud bylo realizováno více pojezdů ve stejné vzdálenosti, bylo získáno více hodnot odpovídající jedné vzdálenosti od zdroje. Proto bylo nutno zavést statistické vyhodnocování hodnot. Pro posouzení byly testovány různé statistické přístupy: jako je geometrický průměr, aritmetický průměr, harmonický průměr a medián (tab. 2).

Geometrický průměr

- je statistická veličina, která udává v jistém smyslu typický koeficient v souboru koeficientů. Geometrický průměr souboru dat a_1, a_2, \dots, a_n je definován jako

$$(a_1 \cdot a_2 \dots a_n)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{a_1 \cdot a_2 \dots a_n} = (\prod_{i=1}^n a_i)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

tzn. n-tá odmocnina součinu všech hodnot. Ze vzorce je zřejmé, že geometrický průměr má smysl jen pro data, ve kterých jsou všechny hodnoty kladné. [16]

Harmonický průměr

- z nenulových hodnot statistického souboru je definován jako podíl rozsahu souboru (počtu členů) a součtu převrácených hodnot znaků. Je to tedy převrácená hodnota aritmetického průměru převrácených hodnot zadaných členů. [17]

$$\overline{x_h} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} \quad (3)$$

Používá se, jsou-li hodnoty znaku nerovnoměrně rozloženy kolem aritmetického průměru nebo když jsou hodnoty extrémně nízké či vysoké.

Aritmetický průměr

- je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se obvykle značí vodorovným pruhem nad názvem proměnné, popř. řeckým písmenem μ . Definice aritmetického průměru je

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

tzn. součet všech hodnot vydělený jejich počtem. [18]

Medián

- je hodnota, jež dělí řadu podle velikosti seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. V statistice patří mezi míry centrální tendence. Platí, že nejméně 50 % hodnot je menších nebo rovných a nejméně 50 % hodnot je větších nebo rovných mediánu. Pro nalezení mediánu daného souboru stačí hodnoty seřadit podle velikosti a vzít hodnotu, která se nalézá uprostřed seznamu. Pokud má soubor sudý počet prvků, obvykle se za medián označuje aritmetický průměr hodnot na místech $n/2$ a $n/2+1$. Obecně se za medián dá označit více čísel. V už zmíněném případě sudého počtu prvků neexistuje jedinečná střední hodnota. Platí však, že polovina hodnot je menší nebo rovna a polovina prvků je větší nebo rovna, ať už se za medián zvolí libovolné z obou prostředních čísel. Totéž platí i pro libovolné číslo, jehož velikost leží mezi těmito dvěma čísly. Proto se jako medián takového souboru může vzít libovolné z obou prostředních čísel i libovolné z čísel mezi nimi. [19]

Nakonec jsem pro účely mé diplomové práce vybral medián. Protože velkou výhodou je, minimální ovlivnění extrémními hodnotami. Jako příklad je v Tab. 2 uvedeno porovnání hodnot rychlostí vibrací získaných při provádění experimentálního měření na stavbě Obchodního centra při ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba. Pro jednotlivé vzdálenosti pojezdů válce byly vypočteny postupně hodnoty geometrického, aritmetického, harmonického průměru a mediánu. Je patrné, že hodnoty ve vzdálenosti 2,6 m se již pro jednotlivé přístupy významně liší.

Vzdálenost	Rychlost kmitání na Ose Z [mm.s ⁻¹]			
	Geometrický	Aritmetický	Harmonický	Medián
0,5	23,460	23,544	23,366	24,663
1,2	9,230	9,315	9,139	10,323
1,9	5,715	5,734	5,697	5,801
2,6	2,704	3,291	1,522	3,927

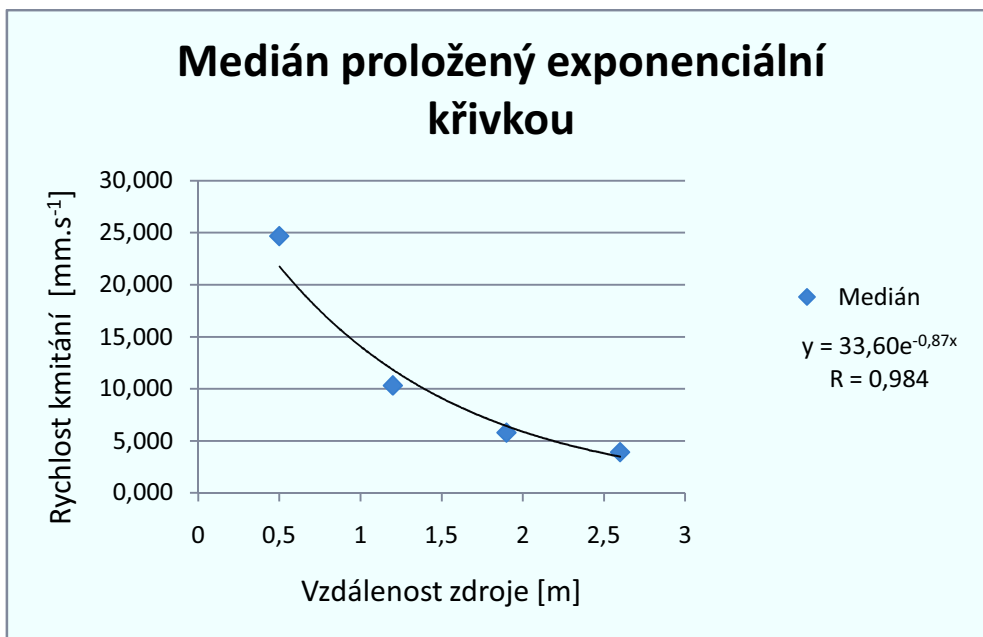
Tab. 2 Příklad porovnání statistického vyhodnocení pro Osu Z

Použití statistického vyhodnocení souboru je však využitelné jen v případě více měření při stejné vzdálenosti zdroje. Tento postup se však použil jen při měření první stavby na stavbě Obchodního centra při ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba. Při realizaci ostatních měření byly měřeny válce v různých předem neznámých vzdálenostech. Proto byl mrak bodů takto získaných hodnot při konstrukci grafu proložen příslušnou křivkou.

Po konstrukci bodového útlumového grafu se proloží naměřené hodnoty křivkou, která bude reprezentovat naměřené výsledky. Na vodorovné ose je nanášena vzdálenost senzoru do zdrojů vibrace a na ose svislé jsou poté vyneseny příslušné amplitudy rychlosti kmitání. Při použití programu Microsoft Office Excel, je možné proložit body několik druhů křivkových závislostí. Jedná se o závislosti exponenciální, logaritmickou, mocninou a polynomickou křivkou 2. řádu. Pro vypracování metodiky zpracování naměřených dat byla vypracována skupina grafů, kde datový soubor byl proložen postupně všemi křivkami.

Exponenciální funkce

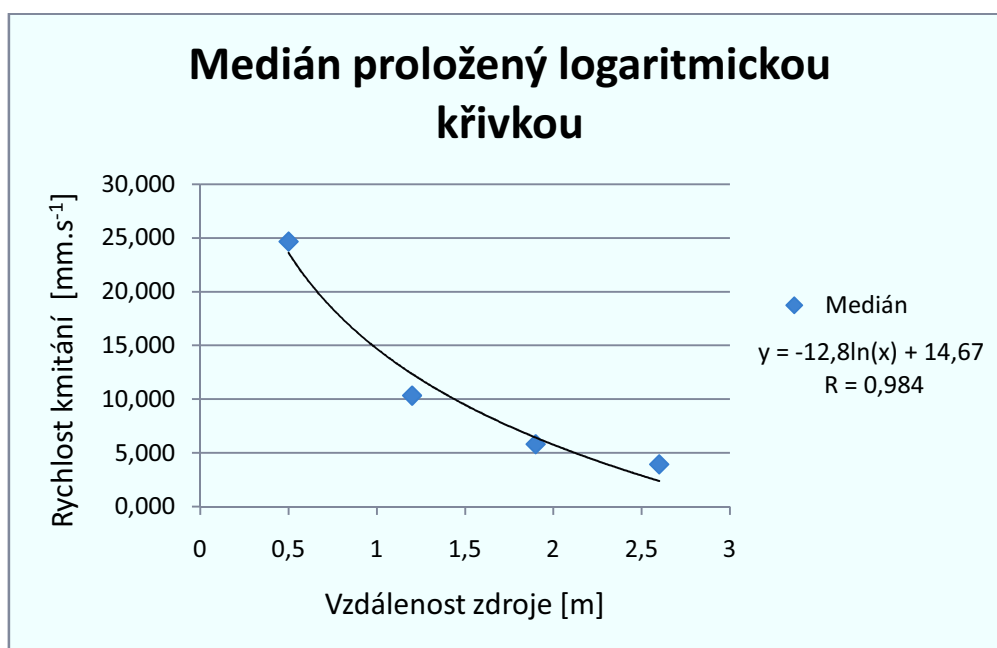
- (Graf 1) je matematická funkce, kterou lze zapsat ve tvaru $y=f(x)=a^x$, kde a je libovolné číslo různé od jedné. Definičním oborem exponenciální funkce mohou být všechna reálná, resp. všechna komplexní čísla. Číslo a se nazývá základ, x exponent. [20]



Graf 1 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián exponenciální křivkou

Logaritmická funkce

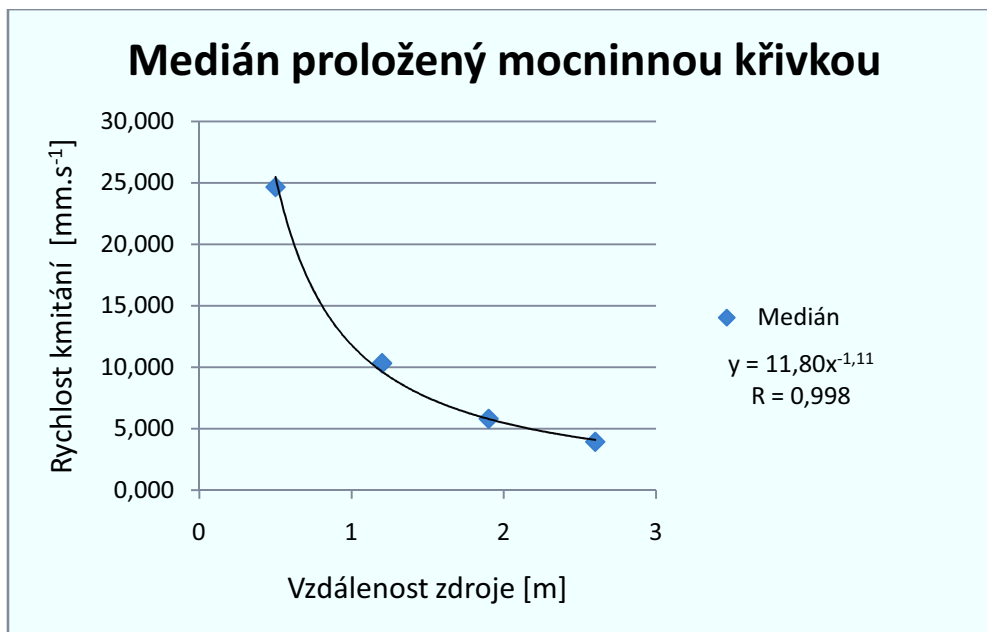
- (Graf 2) je matematická funkce, která je inverzní k exponenciální funkci. Logaritmus kladného reálného čísla x při základu a ($a \in \mathbb{R} \setminus \{1\}$) je takové reálné číslo $y = \log_a x$, pro které platí $a^y = x$. V tomto vztahu se číslo a označuje jako základ logaritmu, logaritmované číslo x se někdy označuje jako numerus, y je pak logaritmem čísla x při základu a . [21]



Graf 2 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián logaritmickou křivkou

Mocninná funkce

- (Graf 3) s exponentem n je každá funkce f vyjádřená ve tvaru $f: y=x^n$.



Graf 3 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián mocninnou křivkou

Polynomické funkce

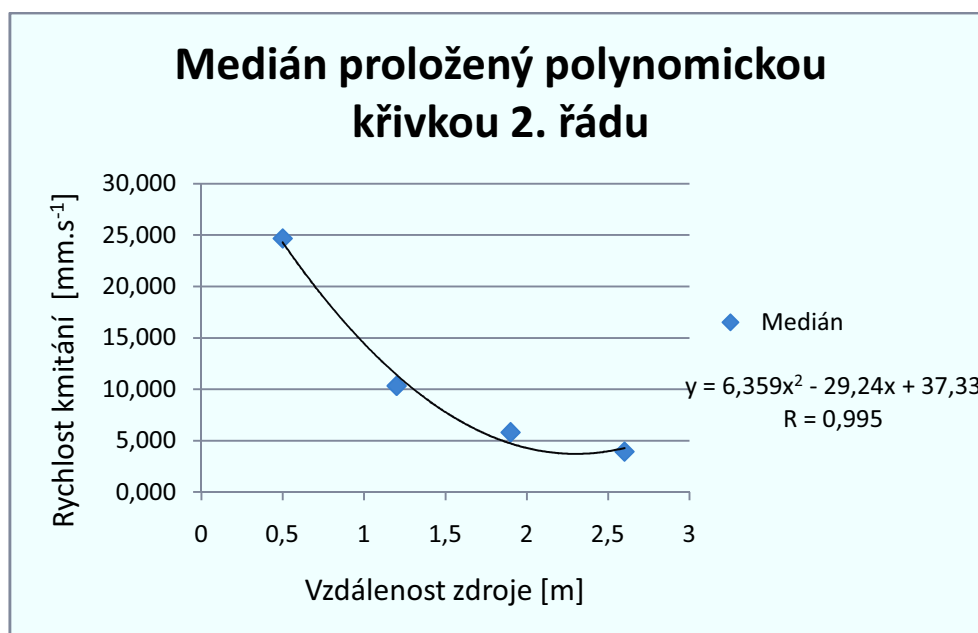
- (Graf 4) je speciální případ racionálních funkcí jsou dány ve tvaru

$$y = \frac{a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_1 x + a_0}{b_n x^n + b_{n-1} x^{n-1} + \dots + b_1 x + b_0} \quad (5)$$

v němž je $b_n = b_{n-1} = \dots = b_1 = 0$, $b_0 = 1$.

Jde tedy o funkce $y = a_m x^m + a_{m-1} x^{m-1} + \dots + a_1 x + a_0$

Definičním oborem každé polynomické funkce je množina \mathbb{R} . [22]



Graf 4 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián polynomicou křivkou 2. řádu

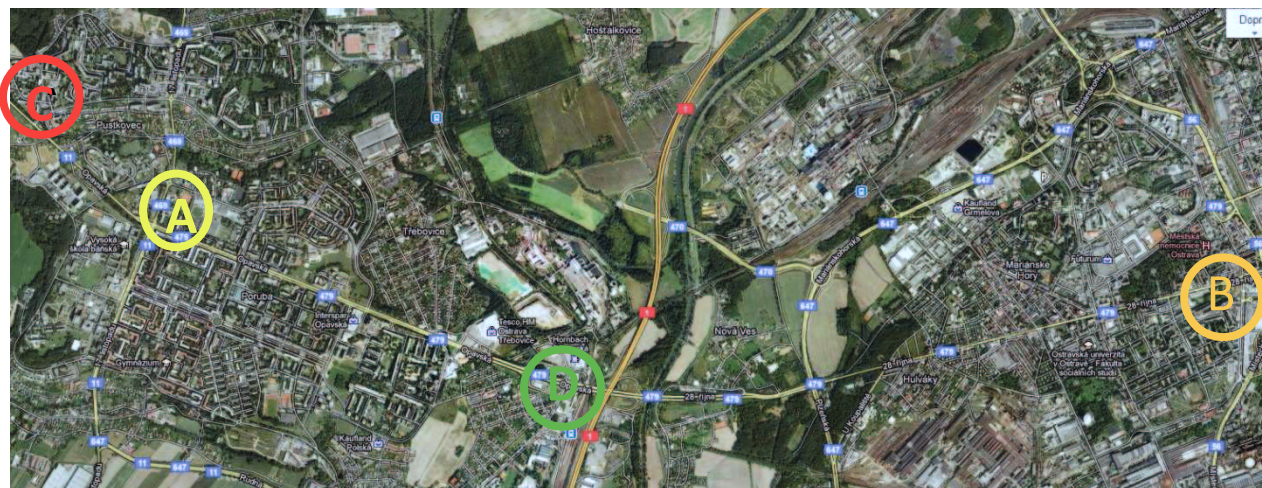
Uvedené příklady jsou pouze ze zpracovaných dat jedné stavby. Po vyhodnocení a zvážení získaných výsledků bylo rozhodnuto, že nejvhodnější je proložení bodů pomocí exponenciálních křivek. Jak bylo uvedeno výše, exponenciální rovnici je popsán útlum při průchodu seizmické vlny reálným horninovým prostředím, a proto toto zobrazení nejvíce odpovídá teoretickým závislostem.

Pro hodnocení přesnosti proložené křivky body slouží hodnota spolehlivosti R. Tato hodnota je počítána programem Microsoft Office Excel. Je zde definována jako: „Zobrazení hodnoty spolehlivosti R, kterou aplikace Excel automaticky vypočítá s cílem určit spolehlivost trendu a přesnost odhadu“. [23] Rozsah této hodnoty je od 0 do 1. Čím se hodnota blíží 1, tím je spolehlivost větší.

6. Experimentální měření

6.1. Měřené stavby

Během získávání hodnot jsem navštívil tři stavby a také jsem provedl experimentální měření v areálu stavební fakulty. Všechna měřící místa se nacházejí na území města Ostravy. Poloha je označena na mapě na obr. 10. Jako první jsem prováděl měření na stavbě Obchodního centra na ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba. Na obrázku 10 je umístění stavby označeno žlutým kruhem a písmenem A. Zde byly provedeny měření při pojezdu vibračního válce. Další navštívená stavba byla Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower - oranžový kroužek s písmenem B. Také zde byla provedena měření vibračního válce. Třetí měření v rámci diplomové práce jsem realizoval na pozemku stavební fakulty - červený kroužek C. Zde jsem měřil vliv vibrační desky na základový pás konstrukce STENDu. Poslední stavbou, kde jsem získal data v rámci diplomové práce, byla Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa - zelený kroužek a písmeno D. Zde jsem opět měřil vibrace při pojezdech vibračního válce.



Obr. 10 Mapa s označenými místy měření [<http://maps.google.cz>]

6.2. Všeobecná geologie Ostravy

Všechna měřená stanoviště se nacházejí na území Ostravy. Měřená staveniště A, C, D se nacházejí na území Porubské plošiny, která je částí Ostravských rovin. Jedná se o plochou pahorkatinu s plochou 18,14 km². Horninové prostředí je tvořeno fluvioglaciálním souvrstvím štěrků a písků překryté vrstvou sprašových hlín spočívajících na skalních horninách moravskoslezského karbonu. Povrch plošiny je značně změněný zástavbou a dalšími antropogenními činnostmi. Ostravské roviny jsou podcelkem Ostravské pánve. Podcelek je tvořen převážně rovinou a plochou pahorkatinou. Jeho plocha je 483,08 km², střední výška je 244 metrů nad mořem a střední sklon je 1° 38'. Jedná se o sníženinu vzniklou poklesem Českého masivu při podsouvání pod Karpaty. Hlavní osu pánve tvoří široká niva řeky Odry, do které se vlévají řeky Opava ze severozápadu a z jihu Ostravice a Olše. Pánev je vyplněná různě mocnými souvrstvími mořských třetihorních sedimentů a čtvrtohorních glaciálních, fluviálních i eolických usazenin. V podloží se nacházejí karbonické sedimenty, které obsahují sloje černého uhlí. Povrch pánve je značně změněný zástavbou města Ostravy, hornickou a průmyslovou činností. Význačné jsou také četné antropogenní tvary, jako jsou průmyslové a těžební haldy a poklesy, na povrchu se také nacházejí četné rybníky. Ostravská pánev je celek v jihozápadní části Severních vněrkarpatských sníženin. Sníženiny jsou morfostrukturně částí karpatské předhlubně, která vznikla v třetihorách před čelem vrásnicích se Vnějších Západních Karpat. Jsou vyplněny neogenními a čtvrtohorními usazeninami. V období pleistocénu je zasáhl nejméně dvakrát pevninský ledovec z Polska. V ČR zasahují pouze Ostravskou pánev, větší část se nachází na území Polska. Jedná se o podsoustavu Vněkarpatských sníženin. [11]

6.3. Novostavba obchodního centra na ulici 17. listopadu v Ostravě Porubě

První navštívenou stavbou měřenou v rámci měření hodnot pro zpracování diplomové práce byla novostavba obchodního centra na ulici 17. listopadu v Ostravě Porubě. Jedná se o železobetonový montovaný skelet, založený na hlubinných pilotových základech. Stavba se neliší od obvyklých budov pro prodejny supermarketů. Jednopodlažní konstrukci zastřešuje klasická šikmá střecha se sklonem 15°. Základové poměry nebyly vyhovující, a proto zde bylo přistoupeno k založení na základovém roštu. Konstrukce byla založena na pilotových

základech, jež byly navrženy jako plovoucí. Z vrtného průzkumu dodaného v rámci požadavku pro řešení diplomové práce lze vyčíst složitou geologii stanoviště, ve které se střídají vrstvy hlíny a zvodněného písku. Do hloubky 0,3 m se nachází vrstva ornice, jemně písčité, tuhá, světle šedohnědá. Tato svrchní vrstva byla před zahájením stavebních prací sejmuta. Od hloubky 0,3 m do 1,4 m se nalézá pevná sprašová hlína, do hloubky 1,9 m se potom hlína mění na tuhou skvrnitou a poté od 1,9 m do 2,4 m je to hlína prachovitá. Od hloubky 2,4 m do 2,6 se nachází vrstva ulehleho jemnozrnného písku, prachovitého slabě hlinitého. Od mocnosti 2,6 m do hloubky 3,8 m se nalézá vrstvy prachovité hlíny. Od hloubky 3,8 m do 9,2 m se objevují vrstvy skvrnitě hlíny. Pod úrovní hlíny se nachází vrstva zvodněného jemnozrnného písku o mocnosti 0,6 m. Od spodní úrovně této pískové vrstvy v 9,8 m až do konce vrtného průzkumu se v 12,5 m nalézá silně jílovitá pevná hlína, ve které se nacházejí příměsi dřeva. Hladina podzemní vody se nachází v hloubce 2,3 m. HPV je ustálená. (Příloha č. 1). Pro nedostatečnou únosnost horních vrstev hlinitých zemin byla zvolena jejich stabilizace pomocí promísení vrstvy s cementem. Při stabilizaci se vrchní část hlinitých zemin promísí s cementem a zvlhčí na optimální vlhkost. Poté se musí vrstva zhutnit pojezdy vibračního válce. Právě při této práci jsem prováděl svá měření. (obr. 11)



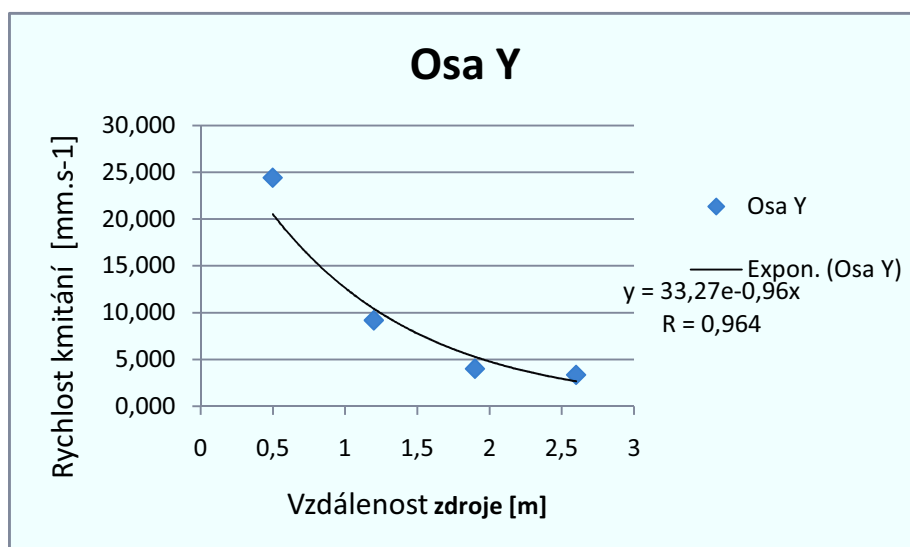
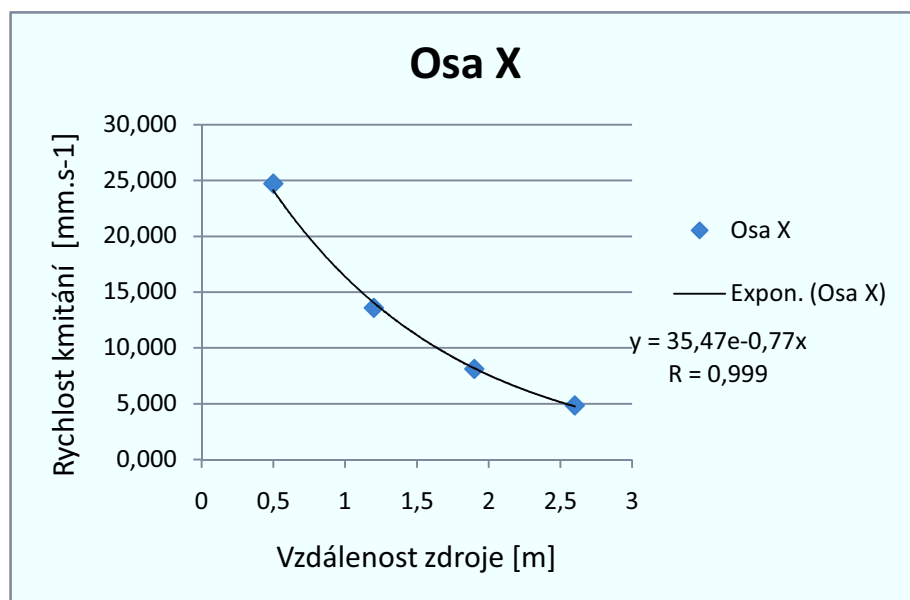
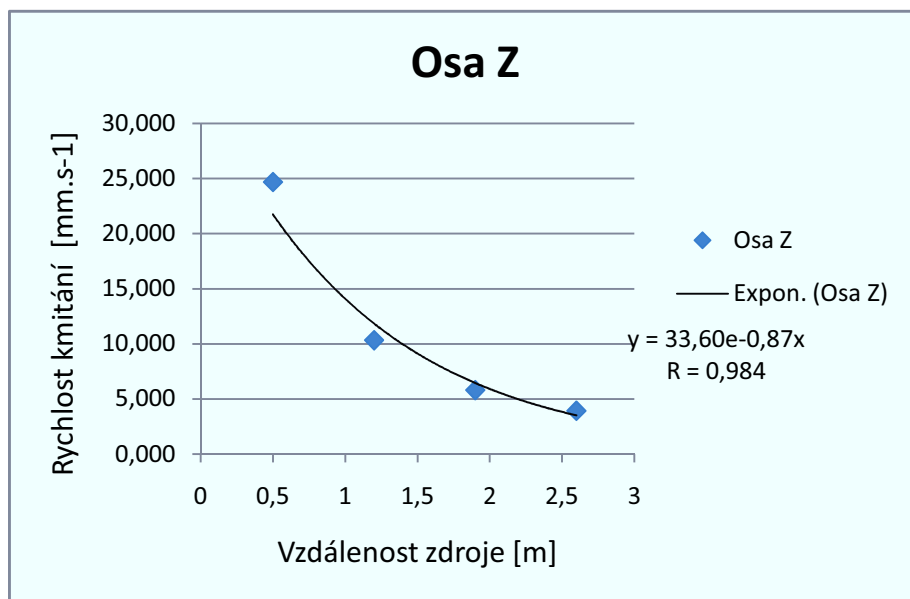
Obr. 11 Měření při realizaci Obchodní centrum na ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba [zdroj: foto autor]

Válec jezdil v určitém pruhu a zde prováděl postupné pojezdy v předem určených páscech. Senzor byl umístěn tak, aby válec byl při svých jednotlivých pojezdech vzdálen v nejbližším bodu 0,5m; následně 1,2m; 1,9m a 2,6 m. U první vzdálenosti bylo provedeno pět měřených pojezdů a u zbývajících vzdáleností se realizovaly čtyři pojezdy (tab. 3).

Vzdálenost	Rychlost kmitání			Rychlost kmitání			Rychlost kmitání		
[m]	1. pojezd [mm.s ⁻¹]			2. pojezd [mm.s ⁻¹]			3. pojezd [mm.s ⁻¹]		
	osa Z	osa X	osa Y	osa Z	osa X	osa Y	osa Z	osa X	osa Y
0,5	21,718	24,722	23,830	24,663	24,722	24,425	24,663	24,722	24,425
1,2	10,353	16,690	9,193	10,472	14,012	10,204	7,467	9,728	7,289
1,9	6,724	8,122	4,016	6,218	7,943	4,254	5,801	8,687	4,344
2,6	4,016	4,849	2,282	3,273	4,373	3,749	4,165	5,296	3,362
Vzdálenost	Rychlost kmitání			Rychlost kmitání					
[m]	4. pojezd [mm.s ⁻¹]			5. pojezd [mm.s ⁻¹]					
	osa Z	osa X	osa Y	osa Z	osa X	osa Y			
0,5	24,365	24,722	24,722	24,663	25,020	24,127			
1,2	10,323	13,596	9,371	-	-	-			
1,9	5,653	8,122	3,927	-	-	-			
2,6	3,927	5,474	3,659	-	-	-			

Tab. 3 Rychlosti kmitání naměřené při jednotlivých pojezdech vibračního válce

Naměřené hodnoty byly zpracovány do podoby útlumové křivky výše popsáním způsobem. Pro jednotlivé měřené složky (osy) je v grafu zobrazen průběh hodnoty získané jako medián z jednotlivých pojezdů. (Graf 5).



Graf 5 Útlumové křivky sestavené pro jednotlivé osy

Z tabulek naměřených rychlostí a grafů útlumových křivek získaných z těchto experimentálních měření je zřejmé, že při měření v nejbližší vzdálenosti 0,5 m jsou rychlosti kmitání všech tří os přibližně stejné. S rostoucí vzdáleností již rozdíly mezi jednotlivými osami rostou. Největší hodnoty lze pozorovat na ose X, tedy ose orientované ve směru ke zdroji kmitání. Další v pořadí velikosti rychlosti kmitání je osa Z a nejmenší hodnoty byly naměřeny na ose Y.

6.4. Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower

Další měření bylo realizováno na novostavbě Administrativního centra IQ Ostrava a TIETO Tower v Ostravě na křižovatce ulic 28. října a Vítkovická. Jedná se o komplex dvou budov o čtrnácti a devíti patrech. Nosná konstrukce je tvořena železobetonovými monolitickými sloupy. Strop je vynesena monolitickými překlady a mezi jednotlivými překlady je umístěna křížem vyztužená železobetonová deska. Střecha je plochá. Obvodový plášť je tvořen skleněnými panely. Podzemní část obou věží budou tvořit třípatrové podzemní garáže. Pro vybudování podzemních garáží slouží základová jáma zajištěná kotveným záporovým pažením. Celková hloubka jámy pro zakládání stavby je 5,8 m pod původní úroveň terénu. Na dně je realizováno založení staveb na hlubinných pilotových základech. Byly mi poskytnuty podklady s geologií dna jámy získané pro ověřování podloží při realizaci pilot. Podle těchto podkladů se ode dna jámy až do hloubky 7 m nacházejí kvartérní sedimenty. Konkrétně se jedná o vrstvu šterkovitého písku barvy naředěné hnědé, který je suchý a středně zrnitý. Jeho třída dle je S3. Mocnost této vrstvy je 2 m. Od hloubky 2m až do 7m se nalézá písčité šterk, naředěné hnědé barvy středně zrnitý zvodněný. Jeho třída je G3. Hladina podzemní vody byla naražena v hloubce 2,5 m. Od hloubky 7 m do hloubky 11,5 m, kde byla pilota ukončena, se podle zprávy nalézá jíla šedé barvy, tuhý až pevný. Třída tuhého je F6 a pevného F8. (Příloha č. 2). Pro porovnání získané geologie jsem také získal vrtný průzkum z Geofondu. Podle tohoto průzkumu se od původního terénu do 2,8 m nalézala hlinitá navážka. Pod navážkou se nacházela vrstva z ostrohranných úlomků cihel antropogenního původu o mocnosti 0,5m. Od hloubky 3,3 m do 4 m se nalézají naplaveniny prachové hlíny tuhé až pevné. Pod touto vrstvou se nachází půl metrová vrstva středně zrněného ulehlého písku. Pod ní se do hloubky 6,5m nachází ulehlý šterk. Právě v této vrstvě je situována spodní úroveň stavební jámy. Na dně jámy probíhala experimentální měření. Pod šterkovou vrstvou se nachází další hlinitý šterk. Od 7,6 m do 8,7 m se nachází zvodněný

ulehlý jemně zrnitý písek. Do 9 m se nachází středně ulehlý jílovitý štěrk. Od 9 m do 12,8 m se nachází ulehlý zvodněný štěrk. Od této hloubky až do 25 m, kde byl vrtný průzkum ukončen, se nalézají plastický vápnitý jíly. Ustálená hladina podzemní vody byla naražená v hloubce 8,1 m pod původním terénem (Příloha č. 3). Bylo mi umožněno provést měření při dvou fázích výstavby. V první byla zhutňována základová půda (obr. 12). Senzor byl tedy umístěn přímo v kontaktu se zeminovým prostředím.

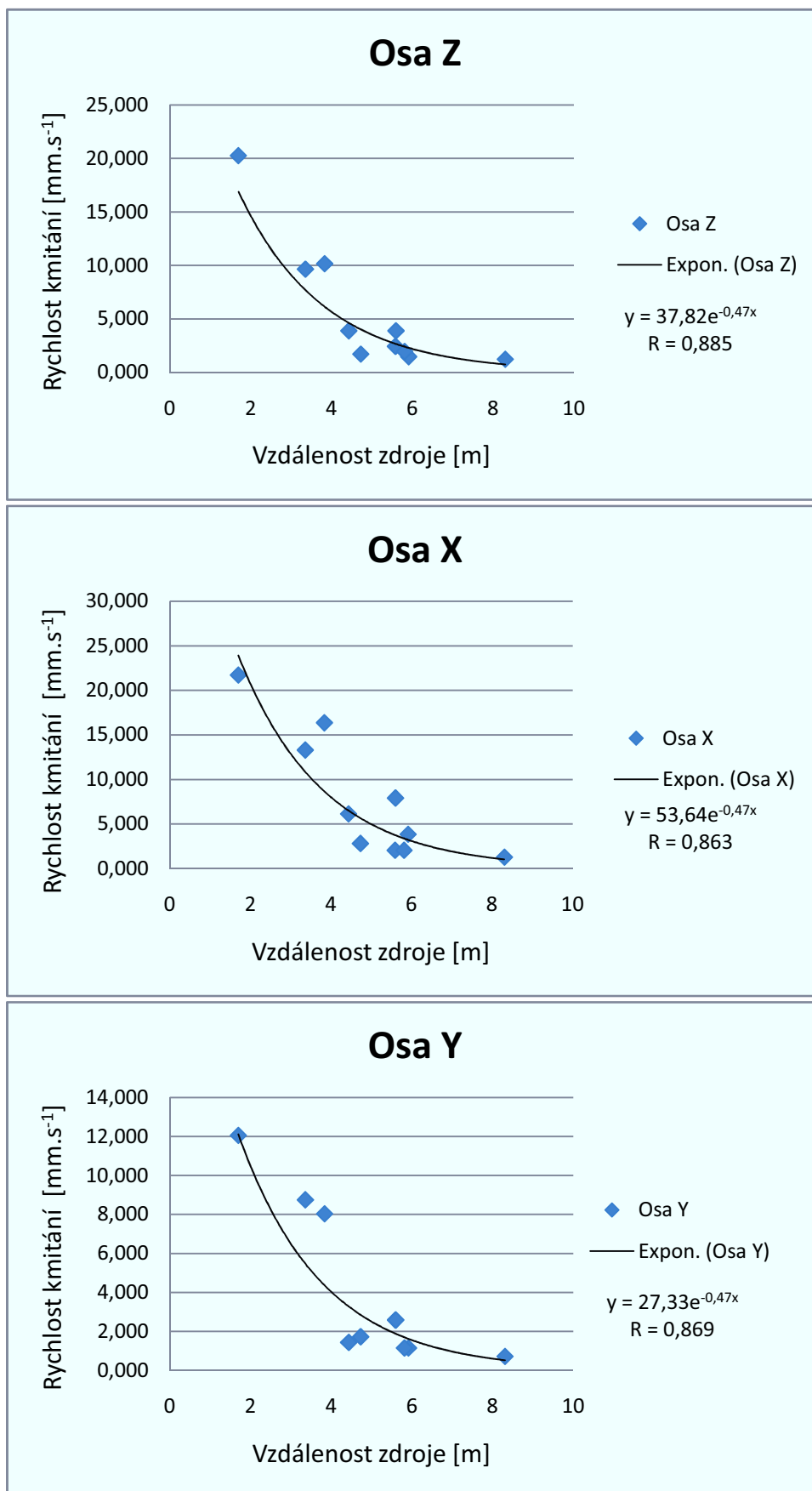


*Obr. 12 První fáze měření při realizaci Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower
[zdroj: foto autor]*

Pojezdy válce již neprobíhaly po předem vytyčené dráze jako v předchozím případě, a proto byly zaznamenány také různé vzdálenosti od zdroje. (tab. 4).

Vzdálenost	Rychlost kmitání [mm.s^{-1}]		
[m]	Osa Z	Osa X	Osa Y
1,70	20,260	21,718	12,049
3,36	9,639	13,298	8,747
3,84	10,145	16,363	8,033
4,43	3,868	6,129	1,434
4,73	1,690	2,811	1,723
5,59	2,413	2,044	2,582
5,60	3,868	7,914	2,582
5,81	1,931	2,044	1,148
5,91	1,449	3,838	1,148
8,30	1,208	1,276	0,717

Tab. 4 Naměřené rychlosti [mm.s^{-1}] při hutnění základové půdy první fáze



Graf 6 Útlumové křivky pro hutnění základové půdy

Z křivek a grafů je zřejmé, že při měření ve fázi jedna jsou v blízkosti zdroje obdobné hodnoty rychlosti vibrací na osách X a Z. Osa X však vykazuje větší hodnoty, rozdíl se zvětšuje se vzdáleností od zdroje. U osy Y lze pozorovat menší hodnoty. Při porovnání průběhu křivek s předchozím případem lze pozorovat jiný vývoj rychlosti vibrací na ose kolmé horizontální ose kolmé ke směru šíření vibrací (osa Y). Tento efekt lze vysvětlit rozdílným geologickým složením mezi písky a hlínami.

V průběhu druhé fáze byla zhutňována vrstva tvořena kamenivem velkých frakcí. (obr. 13) Tato vrstva sloužila jako podklad pro betonáž základových konstrukcí. Vrstva kameniva byla položena o mocnosti 0,2 m.

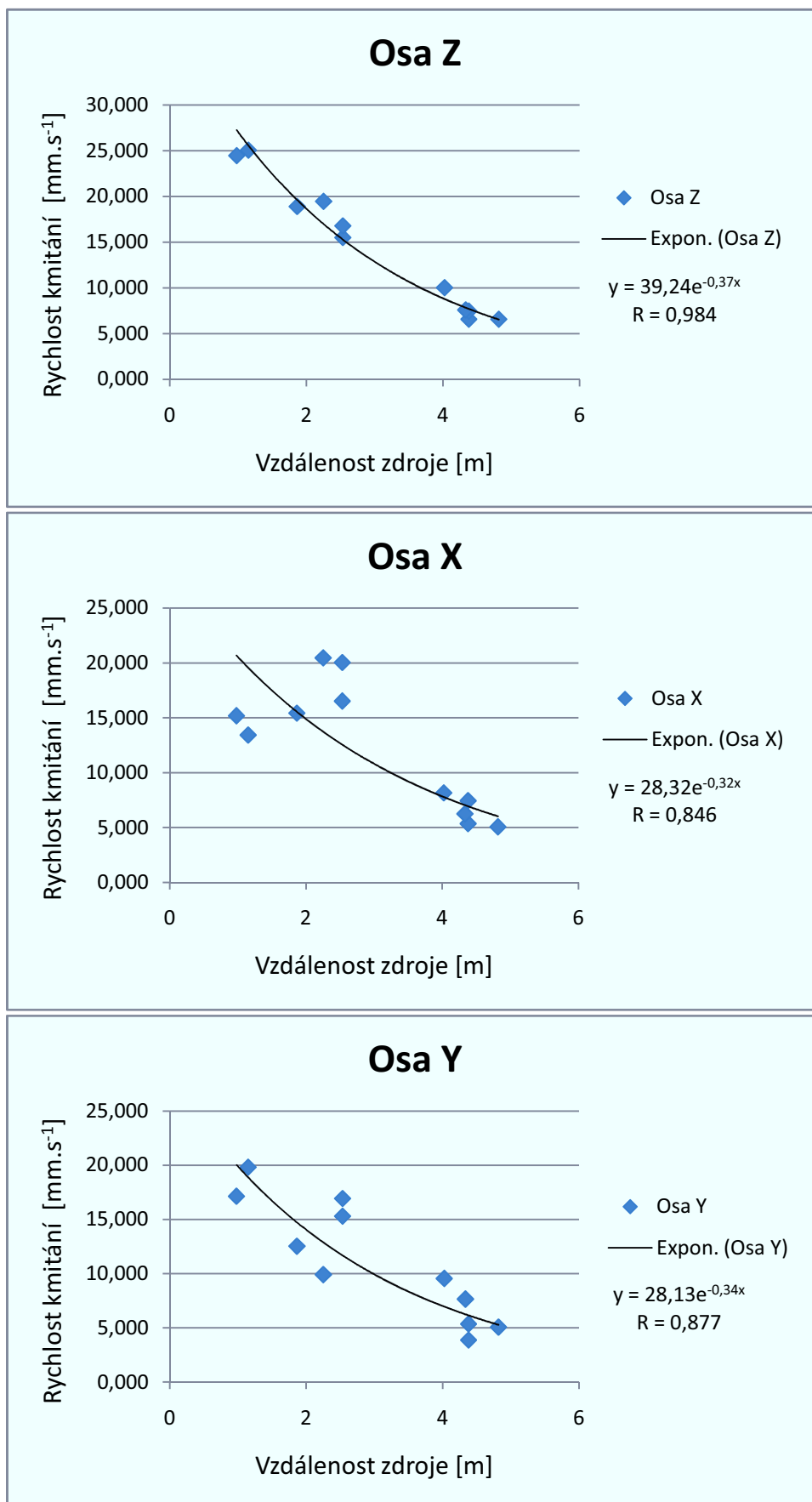


Obr. 13 Druhá fáze měření při realizaci Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower
[zdroj: foto autor]

Pojezdy válce byly měřeny v různých vzdálenostech (tab. 5).

Vzdálenost [m]	Rychlost kmitání [mm.s^{-1}]		
	Osa Z	Osa X	Osa Y
0,98	24,455	15,173	17,136
1,15	25,050	13,417	19,814
1,87	18,891	15,411	12,525
2,25	19,457	20,438	9,907
2,53	15,500	16,511	15,292
2,53	16,779	20,022	16,928
4,02	10,026	8,152	9,550
4,33	7,586	6,248	7,646
4,38	6,575	5,355	3,868
4,38	7,467	7,438	5,355
4,82	6,575	5,058	5,058

Tab. 5 Naměřené rychlosti [mm.s^{-1}] při hutnění makadamové vrstvy druhé fáze



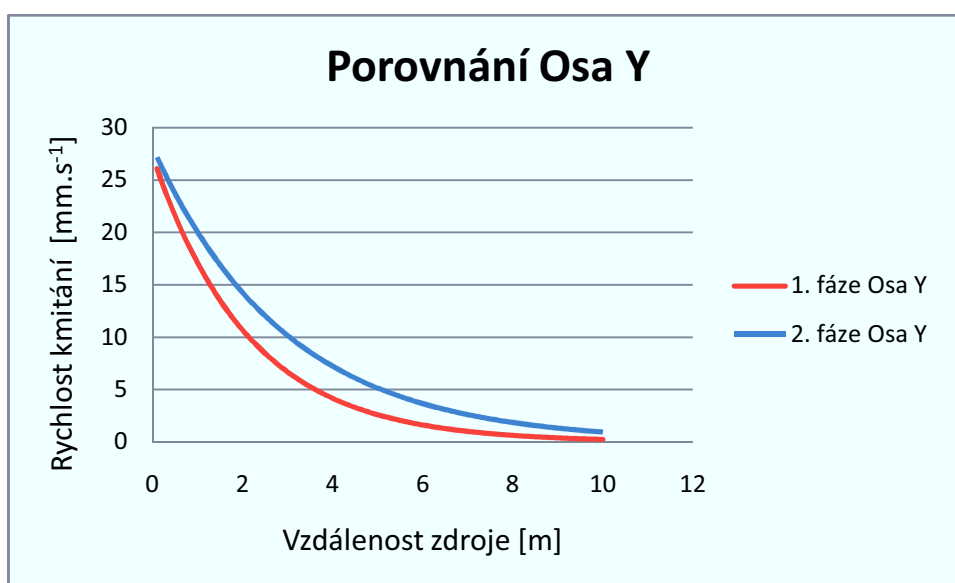
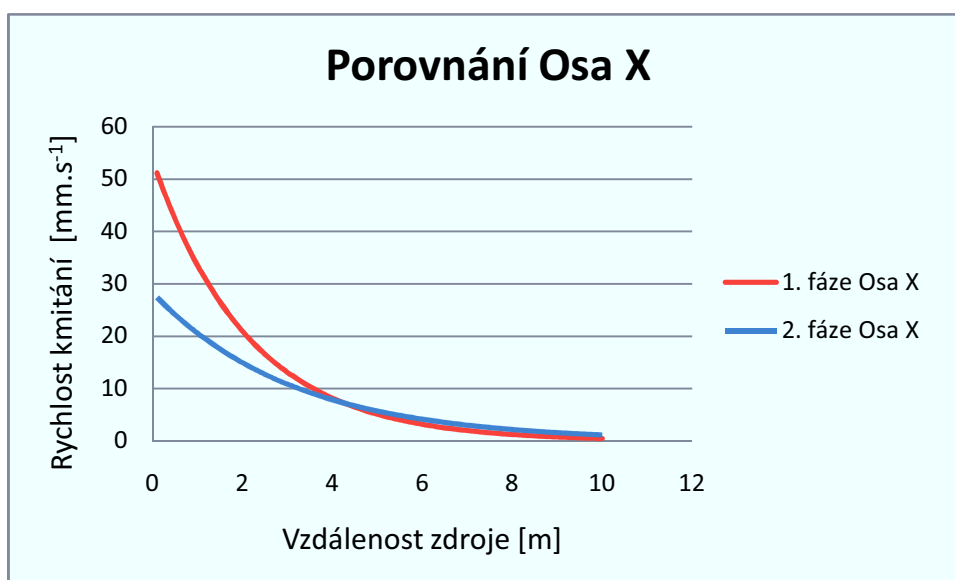
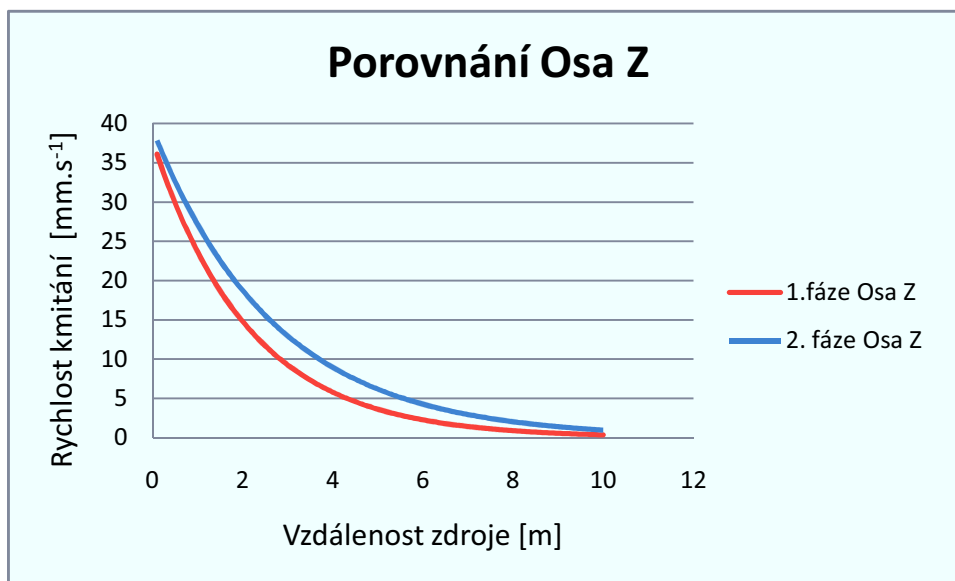
Graf 7 Útlumové křivky pro hutnění makadamové vrstvy

U měření, které bylo realizované při zhutňování vrstvy kameniva tvořeného velkými frakcemi, lze pozorovat změnu rozdílu rychlostí mezi jednotlivými osami. V předchozích dvou případech dominovaly rychlosti vibrací na ose X. Zde lze pozorovat, že větší rychlosti vibrací je dosaženo na ose Z.

6.4.1. Porovnání výsledků při měření první a druhé fáze

Pro vzájemné porovnání jsem vypracoval grafy s porovnáním rychlosti vibrací mezi fázemi jedna a dva. Pro vypracování těchto grafů jsem použil rovnice křivek, které jsou uvedeny u příslušných křivek jednotlivých fází. (Graf 8)

Z grafů je zřejmé, že průběhy šíření rychlosti vibrací v osách Z a Y mají v druhé fázi, tj. při šíření vibrací vrstvou kameniva, větší rychlost vibrací. Největší rozdíl mezi rychlostmi lze pozorovat mezi vzdálenostmi od 1 m do 9 m. Se vzrůstající vzdáleností rozdíl mezi fázemi klesá. Při porovnání průběhů na ose X je zřejmé, že počáteční šíření velikost v první fázi je výrazně větší než u fáze dva. Tento jev se projevuje až do vzdálenosti okolo 4 m, kdy další průběh odpovídá výše popsaným osám. Lze také pozorovat výraznější pokles rychlosti než u předchozích fází.



Graf 8 Porovnání křivek pro fázi jedna a dva

6.5. Experimentální měření na FAST Ostrava

Další měření v rámci diplomové práce jsem prováděl v areálu Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava. Pro měření jsem využil plošného základu pokusné konstrukce tzv. STEND. Konstrukce slouží pro experimentální měření se statickou zatěžovací zkouškou a pro měření katedry konstrukcí. V rámci měření jsem využil jako zdroj vibrací vibrační desku. Nejdříve jsem si vytyčil dráhu, po které se pohybovala vibrační deska. Po trase byly naznačeny body, ve kterých se prováděly vibrace. (obr. 14)



Obr. 14 Experimentální měření na FAST Ostrava [zdroj: foto autor]

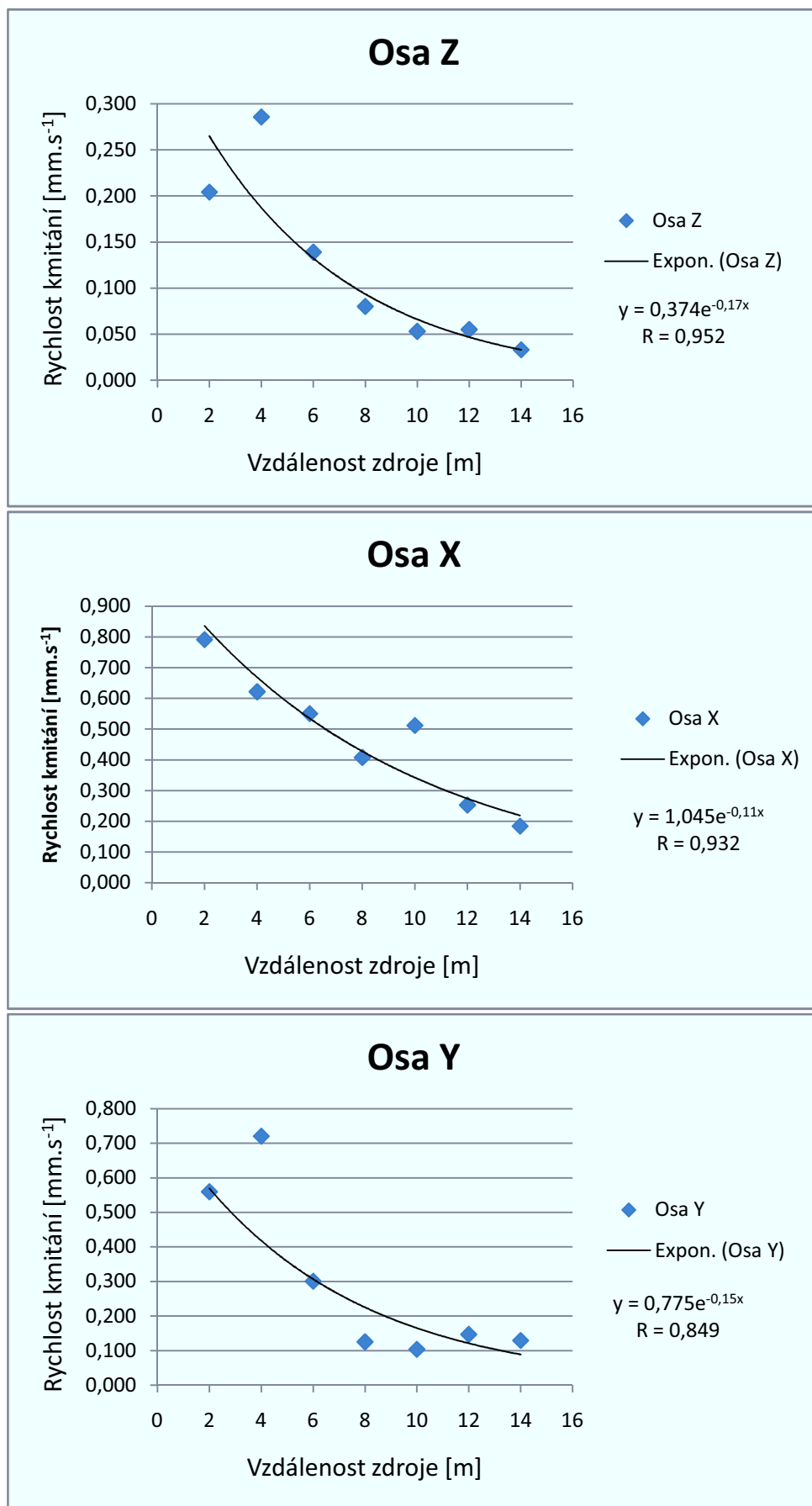
Body byly vyměřeny ve vzdálenostech od 2 do 14 metrů, vždy po 2 metrech. Na každém bodě jsem s vibrační deskou zůstal minutu na místě, aby byl vytvořen dostatečně dlouhý záznam pro pozdější interpretaci. Pro popsání geologie na měřeném stanovišti opět využiji vrtný profil získaný z Geofondu. Do hloubky 0,3 m se jedná o ornici. Pod ní do hloubky 6 m se střídají různé vrstvy pevné písčité jílovité hlíny. Od 6,0 m do 6,4 m se nacházejí pevné hlíny s přítomností jílovitého písku. Do 7 m se nachází vrstva ulehlé hlíny s přítomností drobného štěrku. Od 7 m do 7,3 m je lokalizován ulehlý silně hlinitý písek. Do 8 m je písek velmi ulehlý. Až do 13,7 m, kde skončil vrtný průzkum, jsou lokalizovány různé vrstvy drobného štěrku, který je promísený s křemičitým pískem. Hladina podzemní

vody byla lokalizována v jiném vrtu až na úrovni 15,8 m (Příloha č. 4). Tabulka 6 zobrazuje naměřené hodnoty při realizaci měření.

Vzdálenost [m]	Rychlost kmitání [mm.s ⁻¹]		
	Osa Z	Osa X	Osa Y
2	0,204	0,791	0,559
4	0,286	0,622	0,720
6	0,139	0,550	0,300
8	0,080	0,408	0,125
10	0,053	0,512	0,104
12	0,055	0,253	0,147
14	0,033	0,184	0,129

Tab. 6 Naměřené rychlosti [mm.s⁻¹] při experimentálním měření na FAST

Z grafů a tabulky je patrné, že na rozdíl od předchozích případů, jsou pozorovatelné nejmenší hodnoty na ose Z. Nejvyšších hodnot dosahuje rychlost ve směru šíření (osa X), na ose Y pak hodnoty střední a nejmenší hodnoty jsou na ose Z. Jev je nejpravděpodobněji způsobený interakcí mezi železobetonovou konstrukcí a základovou půdou.



Graf 9 Útlumové křivky experimentálního měření FAST

6.6. Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa

Projekt revitalizace je umístěn v přednádražním prostoru Ostrava-Svinov. Jedná se o stavbu dopravního terminálu nadregionálního významu, který propojí a integruje vlakovou dopravu, individuální automobilovou dopravu, dálkovou autobusovou dopravu s městskou hromadnou dopravou. Projekt navazuje na již realizovanou rekonstrukci nádražní haly ČD včetně přímého přednádražního prostoru. Buduje se nový bezbariérový autobusový terminál pod Svinovskými mosty. Bude se jednat o zastávky a odstavné plochy pro dálkové autobusy a autobusy městské hromadné dopravy. Zároveň s budováním tohoto dopravního propojení dojde i k rekonstrukci kanalizace. Součástí je výstavba polyfunkčního objektu na místě bývalého objektu Plata. Právě v této části revitalizace jsem prováděl svá měření. Geologie zastižena na měřeném stanovišti je získána z vrtů z Geofondu. Do hloubky 0,3 m je humózní hlína s příměsí organického detritu. Tato vrstva byla před zahájením stavby odstraněna. Pod ní se nachází až do hloubky 3 m tuhá hlína, od 3 m je do hloubky 6,4 m ulehlý písčitý štěrk. Pod touto vrstvou je kompaktní mocnost pevné jílovité hlíny až do hloubky 12 m, kde byl vrtný průzkum ukončen. Ustálená hladina podzemní vody byla naražena v hloubce 4,6 m (Příloha č. 5). Po úpravách kanalizace a terénu byla po celé ploše staveniště navezena 0,5 m mocná vrstva kameniva. Tato vrstva byla průběžně hutněna po 2 vrstvách pojezdem vibračního válce. Mé měření probíhalo při hutnění druhé vrstvy. (obr. 15) Válec pojížděl v různých vzdálenostech od senzoru. (tab. 7)

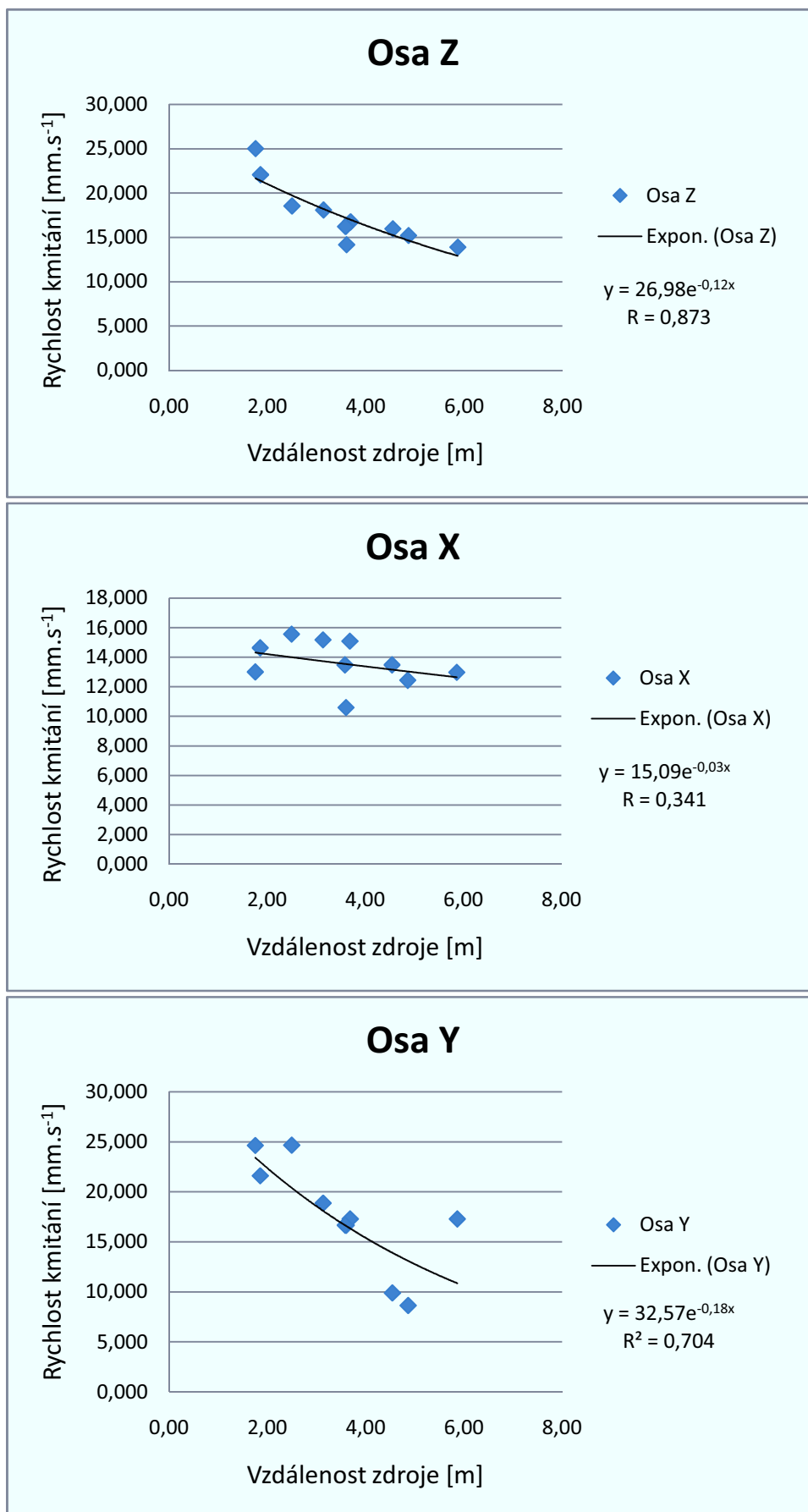
Vzdálenost	Rychlost kmitání [mm.s ⁻¹]		
[m]	Osa X	Osa Z	Osa Y
1,70	22,075	14,637	21,599
3,36	18,534	15,559	24,663
3,83	14,161	10,591	16,660
4,43	15,976	13,477	9,877
4,73	18,088	15,173	18,862
5,60	25,020	13,001	24,633
5,59	16,749	15,083	17,285
5,81	16,214	13,477	16,660
5,91	15,202	12,436	8,628
8,30	13,893	12,971	17,285

Tab. 7 Naměřené rychlosti [mm.s⁻¹] při měření na Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa



Obr. 15 Měření na Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa [zdroj: foto autor]

Z grafů a tabulky vyplývá, že největší hodnoty jsou naměřeny na ose Z. Naopak nejnižší hodnoty jsou na ose X. Na grafu osy X lze vidět velké rozdíly mezi polohou jednotlivých bodů. Proto zde byla vytvořena příslušná křivka, která jen velmi málo kopíruje soustavu těchto bodů. To je reprezentováno také malou hodnotou součinitele spolehlivosti $R=0,341$. Z toho lze soudit, že měřené hodnoty jsou velmi složitě predikovatelné. Komplikovaný průběh útlumových křivek je možno přisoudit neočekávané anomálii, jež se vyskytly na měřeném stanovišti.



Graf 10 Útlumové křivky při měření na Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa

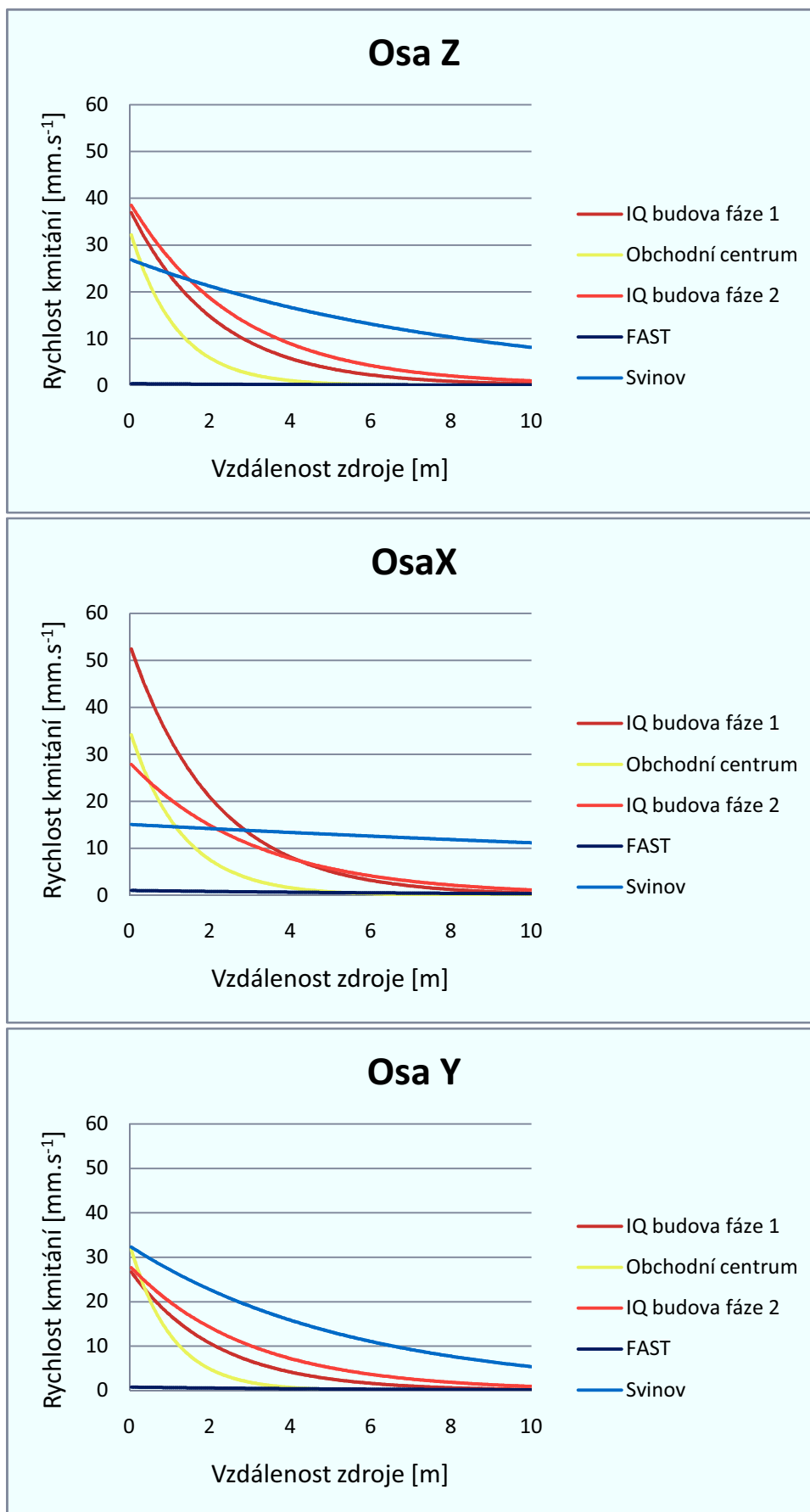
7. Celkové zhodnocení

Pro účel přehledného vyhodnocení byla měřená staveniště označena zkrácenými názvy. Měření během realizace stavby obchodního centra při ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba jsem pojmenoval jako Obchodní centrum. Výsledky získané během měření na realizaci stavby nového administrativního centra IQ Ostrava a TIETO Tower jsem nazval IQ budova fáze 1 a fáze 2. Experimentální měření na FAST Ostrava jsem pro přehled nazval pouze FAST a poslední naměřené výsledky získané při realizaci revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa jsem nazval Svinov. Tyto názvy slouží pro rychlou orientaci a jednoznačné přiřazení naměřeného souboru dat k jejich zdroji.

Pro celkové zhodnocení jsem vytvořil grafy 11. Na kterém jsem pomocí rovnic získaných na jednotlivých stavbách zobrazil maximální rychlosti vibrací odpovídající jednotlivým stavbám. Vypočetl jsem hodnoty od 0 m do vzdálenosti 10m. V rozmezích těchto vzdáleností byla realizována většina mnou provedených měření. Všem grafům jsem přiřadil pro vzájemné porovnání stejné měřítko na vertikální ose zobrazující rychlost kmitání. Grafy zobrazují pro porovnání všechny tři měřené osy. Pro celkovou přehlednost jsem také vypracoval tabulku 8 s rovnicemi použitými pro vytvoření grafů na grafu 11.

Stavba:	Rovnice Osy Z:	Rovnice Osy X:	Rovnice Osy Y:
Obchodní centrum	$y=33,60e^{-0,87x}$	$y=35,47e^{-0,77x}$	$y=33,27e^{-0,96x}$
IQ budova fáze 1	$y=37,82e^{-0,47x}$	$y=53,64e^{-0,47x}$	$y=27,33e^{-0,47x}$
IQ budova fáze 2	$y=39,24e^{-0,37x}$	$y=28,32e^{-0,32x}$	$y=28,13e^{-0,34x}$
FAST	$y=0,374e^{-0,17x}$	$y=1,045e^{-0,11x}$	$y=0,775e^{-0,15x}$
Svinov	$y=26,98e^{-0,12x}$	$y=15,09e^{-0,03x}$	$y=32,57e^{-0,18x}$

Tab. 8 Rovnice odečtené z grafů útlumových křivek pro jednotlivé stavby



Graf 11 Celkové útlumové křivky pro zhodnocení

Dalším výsledkem mé diplomové práce je výčet mnou určených koeficientů absorpce pro jednotlivá prostředí, ve kterých probíhala má měření. (tab. 9)

Podloží	Koeficienty absorpce
Stabilizovaná hlína	0,77 - 0,96
Ulehlý štěrk	0,47
Vrstva kameniva 0,2 m na ulehlém štěrku	0,32 - 0,37
Jílovitá hlína na ŽB k-ci	0,11 - 0,17
Vrstva kameniva 0,5 m na tuhé hlíně	0,03 - 0,18

Tab. 9 Přehled zjištěných koeficientů absorpce

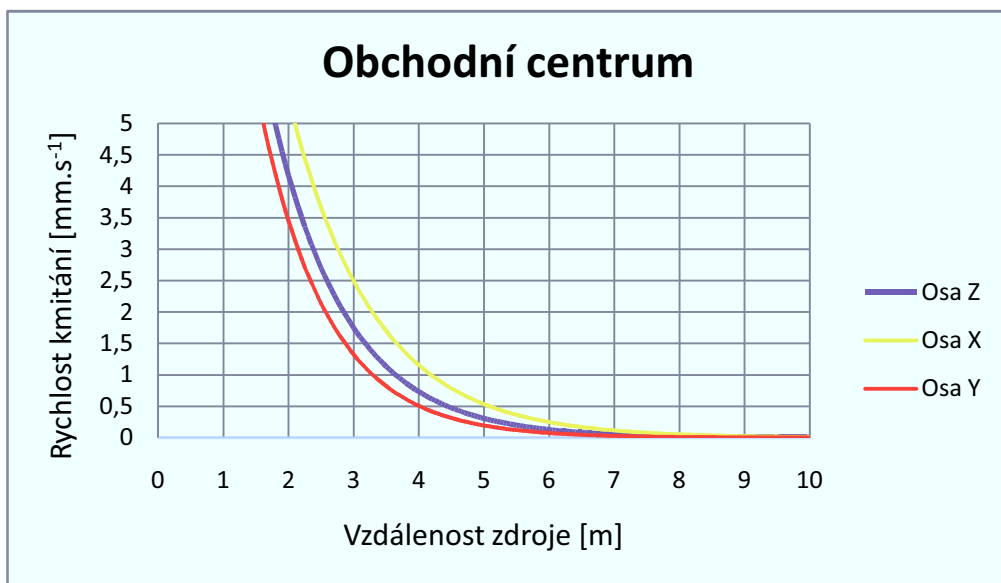
8. Vyhodnocení podle ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva

Podle normy se posouzení technické seizmicity s výjimkou odezvy od trhacích prací provádí pomocí tabulky 10. V tabulce se nacházejí hodnoty efektivní rychlosti kmitání. Pokud jsou na referenčním stanovišti naměřeny menší hodnoty než uvedené, není potřeba z hlediska mezního stavu únosnosti dále posuzovat konstrukci. Na vodorovné ose tabulky se nachází třída významu objektu. Dělí se do 4 tříd: U, I, II, III. Jako třída U jsou označeny objekty s mimořádným anebo společenským významem, třída I má význam velký, třída II střední a třídou III jsou označeny objekty omezeného významu. Na vertikální ose je vynesena třída odolnosti objektu. Objekty patřící do těchto tříd jsou specifikovány v normě. Specifikace je ještě rozdělena do čtyř podskupin. Jsou to: objekty bytové, občanské, průmyslové a zemědělské, objekty inženýrské, objekty podzemní a podzemní inženýrské sítě a kabely. V rámci mé diplomové práce uvedu jen některé příklady objektů. Ve třídě A se nacházejí objekty nejvíce náchylné k poškození. Jsou zde chatrné objekty, které neodpovídají dnešním stavebním předpisům např. historické památky. Ve třídě B se nacházejí běžné cihelné stavby. Do třídy C se řadí velké budovy z cihel a tvárnic, kamenné mosty, kamenné obklady podzemních objektů, kameninové potrubí. V třídě D se jedná o budovy s ocelovým nebo dřevěným skeletem, opěry mostů z kamene, cihelné a tvárnicové obezdívky, litinová potrubí. Do třídy E jsou zařazeny ŽB a ocelové konstrukce, ŽB inženýrské sítě, betonové monolitické konstrukce podzemních objektů, žilové a koaxiální sdělovací kabely. V třídě F se nacházejí nejvíce odolné objekty železobetonové a ocelové ostění, úkryty civilní obrany a ocelové potrubí.

Třída odolnosti objektu	$v_{ef} [mm.s^{-1}]$			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	0,2	0,4	0,7	1,1
B	0,4	0,6	1,0	1,8
C	0,7	1,5	2,0	2,8
D	0,9	2,0	2,5	3,5
E	1,1	2,5	3,0	4,0
F	1,5	3,0	4,0	5,0

Tab. 10 Mezní hodnoty efektivní rychlosti

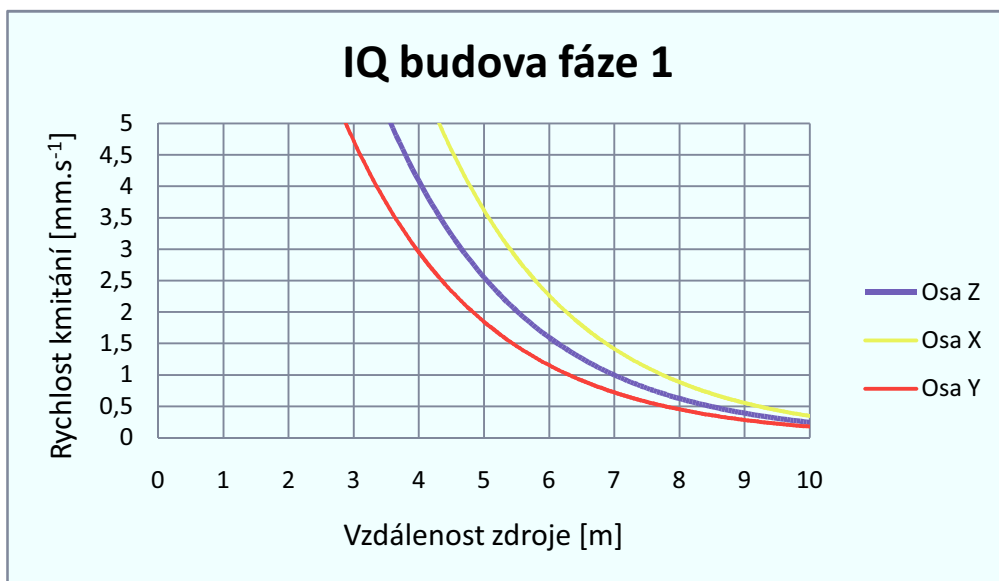
V normě jsou vibrace charakteru déle trvajícího rázového zatížení nebo ustáleného periodického zatížení posuzovány pomocí jejich efektivních hodnot. Pro posouzení naměřených hodnot jsem zvolil mnou stanovené rovnice útlumových křivek pro jednotlivé měřené stanoviště. Zpracování záznamů probíhalo jako odečet špičkových hodnot, a proto jsem převedl pro posouzení hodnoty na efektivní. Převod se realizuje pomocí vydělení maximální hodnoty odmocninou ze dvou. Vytvořil jsem grafy měřených stanovišť s vyobrazením všech tří měřených os, aby bylo jednoznačně určeno, na které z os jsou rozhodující hodnoty. Mimo určení os mohou grafy sloužit k orientačnímu získání minimální vzdálenosti, ve které nebude překročena hodnota mezní efektivní rychlosti pro posuzovanou stavbu. Na vertikální ose jsem zvolil jako maximální hodnotu $5,0 \text{ mm.s}^{-1}$, která odpovídá třídě významu III a třídě odolnosti objektu F. Po určení osy s maximálními efektivními hodnotami jsem provedl výpočet vzdáleností, ve kterých jsou dosaženy hodnoty rychlosti kmitání podle tab. 10. Tyto hodnoty jsem vynesl pro větší přehled do tabulek. Pokud by se posuzoval objekt podle normy v lokalitách obdobné struktury a při provádění podobných prací, stačilo by po provedení zatřídění objektu vyhledat vypočtenou vzdálenost, ve které již objekt nemusí být posuzován dynamickým výpočtem.



Graf 12 Grafické znázornění posouzení stanoviště Obchodní centrum podle normy

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	6,35	5,35	4,65	4,05
B	5,35	4,85	4,20	3,45
C	4,65	3,65	3,30	2,85
D	4,30	3,30	3,00	2,55
E	4,05	3,00	2,75	2,40
F	3,65	2,75	2,40	2,10

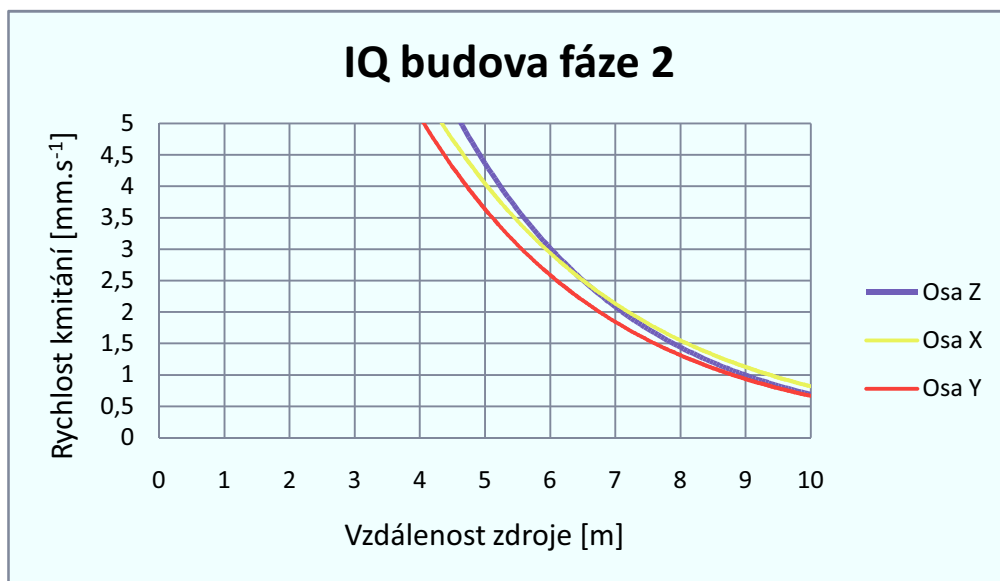
Tab. 11 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti Obchodní centrum



Graf 13 Grafické znázornění posouzení stanoviště IQ budova fáze 1 podle normy

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	11,20	9,70	8,50	7,55
B	9,70	8,85	7,75	6,50
C	8,50	6,90	6,30	5,55
D	8,00	6,30	5,80	5,10
E	7,55	5,80	5,40	4,80
F	6,90	5,40	4,80	4,35

Tab. 12 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti IQ budova fáze 1

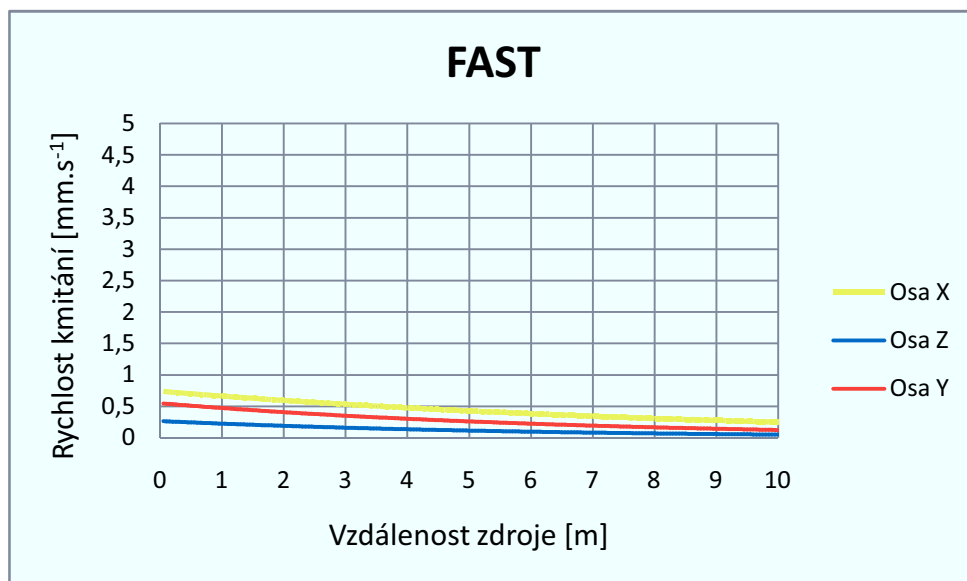


Graf 14 Grafické znázornění posouzení stanoviště IQ budova fáze 2 podle normy

Z grafů lze vypožorovat, že u měření na stanovišti IQ budova u 2. Fáze se mi mění dominantní osa ve vzdálenosti 6,5 m. Z počátku je dominantní osa Z, ale poté co vzdálenost překročí 6,5 m, se nejvyšší hodnoty odečítají na ose X.

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	15,50	13,30	11,55	10,15
B	13,30	12,05	1,0	8,60
C	11,55	9,20	8,30	7,25
D	10,80	8,30	7,60	6,55
E	10,15	7,60	7,00	6,20
F	9,20	7,00	6,20	5,60

Tab. 13 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti IQ budova fáze 2

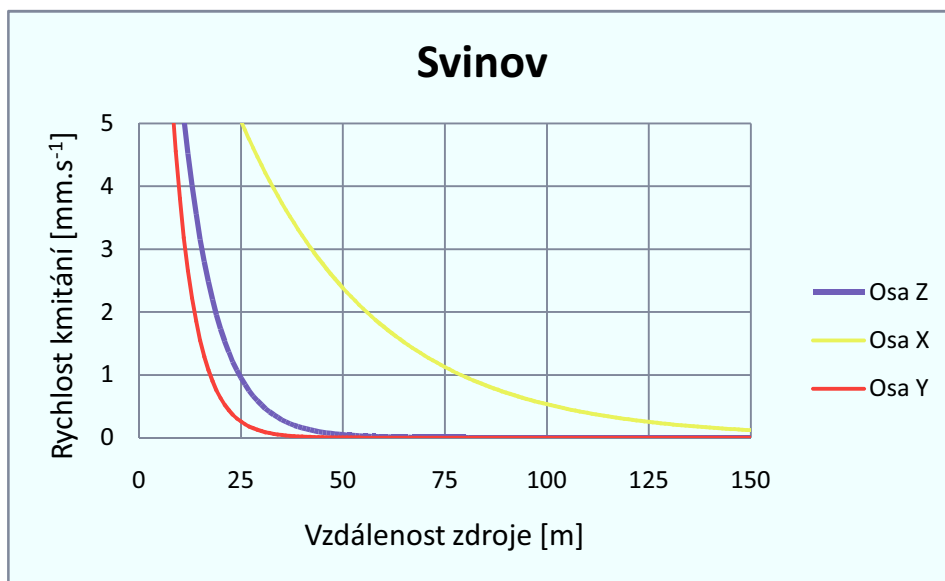


Graf 15 Grafické znázornění posouzení stanoviště FAST podle normy

Při měření na stanovišti FAST byla jako zdroj použita vibrační deska. Proto vypočtené efektivní hodnoty nedosahují většinu normových mezních rychlostí. Vibrační deska by tedy neměla způsobit dynamické zatížení objektů spadajících do tříd bez uvedené vzdálenosti.

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	10,60	5,60	0,50	-
B	5,60	1,90	-	-
C	0,50	-	-	-
D	-	-	-	-
E	-	-	-	-
F	-	-	-	-

Tab. 14 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti FAST



Graf 16 Grafické znázornění posouzení stanoviště Svinov podle normy

Efektivní hodnoty vypočtené pro stanoviště Svinov jsou mnohem větší než pro ostatní měřená stanoviště. Byl proto použit pro vyhodnocení graf s upravenou horizontální osou. Nanesl jsem na ní vzdálenost až do 105 m. Pro lepší názornost velkých vzdáleností jsou také hodnoty vzdáleností zaokrouhleny na 0,5 m.

Třída odolnosti objektu	Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí [m]			
	Třída významu objektu			
	U	I	II	III
A	132,5	109,5	91,0	75,5
B	109,5	96,0	78,5	59,0
C	91,0	65,0	55,0	44,5
D	82,5	55,0	48,0	37,5
E	75,5	48,0	42,0	32,5
F	65,0	42,0	32,5	25,5

Tab. 15 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti Svinov

9. Závěr

Během vypracování diplomové práce byly splněny všechny cíle stanovené v zadání. Hlavním těžištěm diplomové práce je provedení a vyhodnocení měření rychlostí kmitání technické seizmicity, která vznikají při provádění geotechnických prací. Před vlastním měřením jsem vypracoval rešerši dostupné literatury, normativních předpisů a teoretických předpokladů ohledně technické seizmicity. Hlavní zaměření rešerše bylo na měření a vyhodnocení. Po provedení rešerše jsem vypracoval systematiku měření. V jejím rámci jsem si teoreticky připravil postupy, kterými jsem se řídil během měření in situ. Tyto teoretické předpoklady byly pružně přizpůsobovány jak situacím na staveništích, tak hlavně měřeným pracím. Po získání naměřených hodnot rychlostí kmitání jsem provedl jejich vyhodnocení. To spočívalo v hledání vhodných statických postupů. Po zpracování naměřených dat jsem je vynesl do bodových grafů. Body jsem posléze proložil exponenciální křivkou. Takto jsem získal útlumové křivky jednotlivých měřených staveb.

Útlumové křivky jednotlivých měření na grafech 5, 6, 7, 9 a 10 a celkové útlumové křivky 11 jsou jedním z výsledků mé práce. Každá je navázána, jak na příslušnou geotechnickou práci, tak na geologii stanoviště. Navštívil jsem stavby Obchodního centra na ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba, Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower, zde měření probíhalo ve dvou fázích, poslední měřená stavba byla Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa. Provedl jsem experimentální měření vlivu vibrační desky na základový pás konstrukce STENDu. Z útlumových křivek lze predikovat rychlosti kmitání, které se bude pravděpodobně vyskytovat v budoucnu, pokud se budou provádět obdobné stavební práce v podobném prostředí. Při porovnání mnou vypočtených útlumových křivek s obdobnými hodnotami získanými během práce na rešerši, jsem zjistil jiný průběh u křivek získaných ze staveniště ve Svinově. Abnormální chování dokazuje malá hodnota spolehlivosti křivek. Odlišnost těchto útlumových křivek lze připsat nepředpokládané anomálii v měřené geologii. Může souviset s blízkostí zlomu vrstev, s přítomností neobjeveného cizorodého tělesa působící jako refrakční těleso, nebo jiné anomálie vzniklé během pokládání a úpravy podkladní vrstvy kameniva, na které probíhalo měření. U získaných hodnot na stavbě IQ budovy lze obdobně pozorovat odlišné chování. Konkrétně v měření 2. fáze u hodnot osy X. Křivka má jiný průběh než obdobné. Chování lze připsat anomálii vzniklé při konstrukci makadamové vrstvy. Důkaz tvrzení lze nalézt v grafu 8. Z grafu je zřejmé, že jiný průběh na ose X se projevuje až po násypu vrstvy.

Dalším výstupem diplomové práce je přenesení všech útlumových křivek do jednoho grafu. Z grafu vyplývá, že měřené hodnoty ze Svinova se chovaly abnormálně. Je zřejmý rozsah jednotlivých měřených prací. Nejmenší naměřené hodnoty patří vibrační desce. Rozdíly mezi vibračními válci již nejsou tak velké a jsou způsobeny rozdílností ve vykonávaných pracích a také rozdílným prostředím. Tyto celkové křivky jsem vytvořil již pomocí útlumových rovnic odvozených z naměřených hodnot.

Z naměřených útlumových křivek jsem také jako další výstup odvodil útlumové koeficienty. V tabulce 10 je přehled zjištěných koeficientů v závislosti na geologickém prostředí, ve kterém byly získány. Tyto koeficienty lze použít například pro výpočty potřebné jako základní vstupy modelování reakce prostředí při zatížení seizmicitou pomocí metody konečných prvků. Zjištěné koeficienty odpovídají teoretickým předpokladům. U měření Obchodního centra realizovaného na hlínách se součinitel blíží k jedné. Hlíny jsou jemnozrnné prostředí, ve kterém je obsaženo mnoho jednotlivých elementů. Na jejich kontaktu vzniká mnoho seizmických rozhraní. Nedají se tedy označit ani zdaleka za ideálně pružné prostředí, a proto je zde součinitel velice blízký k hodnotě jedna. Naopak velké ostrohranné kusy se mohou seskládat po vibraci tak, aby těsně doléhaly hranami na sebe navzájem. Jev poté částečně eliminuje útlum na rozhraní a prostředí se přiblíží částečně pružnému stavu původního kompaktního horninového bloku. Součinitel absorpce se začne blížit k hodnotě nula. Nízký útlumový koeficient u měření na FASTu lze vysvětlit pružným chováním betonového základu, na kterém byl ustaven senzor.

Součástí vyhodnocení měření rychlostí kmitání je posouzení podle normy ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. V rámci posouzení jsem zvolil grafickou variantu. Zpracoval jsem grafy všech měřených lokalit v rozmezí mezních hodnot efektivních rychlostí kmitání. Grafy lze použít spolu s tabulkou mezních hodnot k posouzení případných objektů grafickým způsobem. Jako další výstup jsem vypočítal minimální vzdálenosti pro jednotlivé třídy objektů. Jedná se o minimální vzdálenosti bez nutnosti objekty posuzovat pomocí dynamických výpočtů kdy již pravděpodobnost jejich poškození z hlediska mezního stavu použitelnosti je velice nízká. Rozptyl vzdáleností podle třídy významu a třídy odolnosti objektů je velmi velký. U stanoviště Obchodní centrum se pohybuje v rozmezí 2,1 až 6,35 m. U IQ budovy v měření na terénu (1. fáze) je rozsah 4,35 až 11,20 m. Pokud však měření probíhá ve stejném prostředí, ale na konstrukční vrstvě kameniva, zvětší se již rozsah na 5,60 až 15,50 m. Při použití vibrační desky jsou rychlosti minimální a většinu objektů nehrozí riziko poškození.

Jen k těm nejvíce důležitým objektům a zároveň těm nejméně odolným se mohou přiblížit v rozmezí 0,5 až 10,6 m. Měřené hodnoty ze Svinova je ovlivněno abnormálním chováním způsobeným neočekávanou anomálií, a proto se rozsah vzdálenosti mění mezi 25,5 a 132,5 m.

10. Seznam obrázků:

Obr. 1 Vibrace od typických geotechnických prací	- 6 -
Obr. 2 Grafické znázornění P-vln a S-vln	- 8 -
Obr. 3 Grafické znázornění Rayleighových a Loveho vln.....	- 9 -
Obr. 4 Vzdálenost senzoru od zdroje	- 12 -
Obr. 5 Seizmická aparatura Gaia2a Senzor ViGeo2	- 14 -
Obr. 6 Frekvenční charakteristika senzoru ViGeo 2	- 14 -
Obr. 7 Laserový dálkoměr Leica Disto A6	- 15 -
Obr. 8 Příklad zobrazení záznamu programem SWIP v amplitudové i frekvenční oblasti -	16 -
Obr. 9 Grafické znázornění směru os senzoru	- 16 -
Obr. 10 Mapa s označenými místy měření.....	- 23 -
Obr. 11 Měření při realizaci Obchodní centrum na ulici 17. listopadu Ostrava – Poruba..	- 25 -
Obr. 12 První fáze měření při realizaci Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower	- 29 -
Obr. 13 Druhá fáze měření při realizaci Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower	- 31 -
Obr. 14 Experimentální měření na FAST Ostrava	- 35 -
Obr. 15 Měření na Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa	- 39 -

11. Seznam tabulek:

Tab. 1 Rychlosti šíření vln v horninách	- 10 -
Tab. 2 Příklad porovnání statistického vyhodnocení pro Osu Z	- 19 -
Tab. 3 Rychlosti kmitání naměřené při jednotlivých pojezdech vibračního válce	- 26 -
Tab. 4 Naměřené rychlosti [mm.s^{-1}] při hutnění základové půdy první fáze	- 29 -
Tab. 5 Naměřené rychlosti [mm.s^{-1}] při hutnění makadamové vrstvy druhá fáze	- 31 -
Tab. 6 Naměřené rychlosti [mm.s^{-1}] při experimentálním měření na FAST	- 36 -
Tab. 7 Naměřené rychlosti [mm.s^{-1}] při měření na Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa	- 38 -
Tab. 8 Rovnice odečtené z grafů útlumových křivek pro jednotlivé stavby	- 41 -
Tab. 9 Přehled zjištěných koeficientů absorpce	- 43 -
Tab. 10 Mezní hodnoty efektivní rychlosti	- 44 -
Tab. 11 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti Obchodní centrum.....	- 46 -
Tab. 12 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti IQ budova fáze 1	- 47 -
Tab. 13 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti IQ budova fáze 2.....	- 48 -
Tab. 14 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti FAST	- 49 -
Tab. 15 Vzdálenosti při dosažení mezních rychlostí na stanovišti Svinov	- 50 -

12. Seznam grafů:

Graf 1 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián exponenciální křivkou. -	20 -
Graf 2 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián logaritmickou křivkou. -	20 -
Graf 3 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián mocninnou křivkou -	21 -
Graf 4 Příklad proložení hodnot získaných statistickou funkcí medián polynomičnou křivkou 2. řádu.....	- 22 -
Graf 5 Útlumové křivky sestavené pro jednotlivé osy	- 27 -
Graf 6 Útlumové křivky pro hutnění základové půdy.....	- 30 -
Graf 7 Útlumové křivky pro hutnění makadamové vrstvy.....	- 32 -
Graf 8 Porovnání křivek pro fázi jedna a dva	- 34 -
Graf 9 Útlumové křivky experimentálního měření FAST	- 37 -
Graf 10 Útlumové křivky při měření na Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa	- 40 -
Graf 11 Celkové útlumové křivky pro zhodnocení	- 42 -
Graf 12 Grafické znázornění posouzení stanoviště Obchodní centrum podle normy.....	- 46 -
Graf 13 Grafické znázornění posouzení stanoviště IQ budova fáze 1 podle normy.....	- 47 -
Graf 14 Grafické znázornění posouzení stanoviště IQ budova fáze 2 podle normy.....	- 48 -
Graf 15 Grafické znázornění posouzení stanoviště FAST podle normy.....	- 49 -
Graf 16 Grafické znázornění posouzení stanoviště Svinov podle normy	- 50 -

13. Seznam použité literatury a podkladů

13.1. Nařízení vlády:

- [1] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In *Sbírka zákonů*. 2011, 97/2011, č. 272, s. 3338-3351. Dostupný také z WWW: <http://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/narizeni-vlady-c272/2011-sb-o-ochrane-zdravi-pred-nepriznivymi-ucinky-hluku-a-vibraci_5419_2439_11.html>.

13.2. Normy:

- [2] ČSN EN 1998-1 (730036). *Eurokód 8: Navrhování konstrukcí odolných proti zemětřesení*. Praha: ČNI, Září 2006. 170 s.
- [3] ČSN 73 0040. *Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva*. Praha: ČNI, Březen 1996. 28 s.

13.3. Literatura:

- [4] PINKA, M. *Vliv ustavení seizmického senzoru na kvalitu odečítaných hodnot*. Ostrava, 2010. 34 s. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební.
- [5] STOLÁRIK, M. *Studie seizmického zatížení při zhutňování zemin těžkou vibrační technikou*. In *Juniorstav 2007: 9. odborná konference doktorského studia*. Brno: VUT v Brně, 2007. sborník příspěvků na cd. Dostupné z WWW: <http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_2.6/Stolarik_Martin_CL.pdf>.
- [6] KALÁB, Z. *Seizmická měření v geotechnice: Monografie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 125 s. ISBN 978-80-248-1796-5(brož.).
- [7] STOLÁRIK, M. *Seizmická odezva trhací práce na ražených tunelech stavby 514 Lahovice-Slivenec*. EGRSE. Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment. 2010, 1, s. 45-55.
Dostupný také z WWW: <http://www.caag.cz/storage/1285864323_sb_egrse-xvii1_2010.pdf>. ISSN 1803-1447.
- [8] KOŘÍNEK, R., ALDORF, J. *Geotechnický monitoring*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1994. 90 s. ISBN 80-7078-247-1(brož.).
- [9] SARSBY, R.W. *Environmental geotechnics*. London: Thomas Telford, 2000. 584 s. ISBN 0-7277-2752-4(váz.).
- [10] MAREŠ, S. *Úvod do užití geofyziky*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979. 590 s.
- [11] DEMEK, J., MACKOVČIN, P. *Hory a nížiny*. vyd. Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2006. 580s. ISBN 80-86064-99-9.

13.4. Internetové podklady:

- [12] URL: < <http://www.inset.cc/merania-seizmicity.php> > [online]. 2011
[citováno 10. listopadu 2011].
- [13] URL: < <http://www.veseli-nad-moravou.cz/posouzeni-statiky-bytovych-domu-na-sidlisti-chaloupky-vlivem-dopravy-na-silnici-i-54-v-prelozene-poloze/d-370645/p1=57617> > [online]. 2011
[citováno 10. listopadu 2011].
- [14] URL: < <http://earthquake.usgs.gov> > [online]. 2011
[citováno 10. listopadu 2011].
- [15] URL: < <http://old.merime.cz/product/dalkomer-leica-disto-a6> > [online]. 2011
[citováno 30. května 2011].
- [16] URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Geometrický_průměr. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].
Dostupné z WWW: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Geometrický_průměr >.
- [17] URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Harmonický_průměr. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].
Dostupné z WWW: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Harmonický_průměr >.
- [18] URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetický_průměr. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].
Dostupné z WWW: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetický_průměr >.
- [19] URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Medián>. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].
Dostupné z WWW: < <http://cs.wikipedia.org/wiki/Medián> >.
- [20] URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Exponenciální_funkce. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].
Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Exponenciální_funkce>.

- [21] URL: http://cs.wikipedia.org/wiki/Exponenciální_funkce. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].

Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Exponenciální_funkce>.

- [22] URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Logaritmus>. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [citováno 30. května 2011].

Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Logaritmus>>.

- [23] URL:<<http://karel.kotynek.sweb.cz/documents/matematika/matematika2r/funkce/5.3.htm>> [online]. 2011 [citováno 30. května 2011].

- [24] URL:<<http://office.microsoft.com/cs-cz/help/zobrazeni-hodnoty-spolehlivosti-r-spojnice-trendu-HP005227590.aspx>> [online]. 2011 [citováno 30. května 2011].

14. Seznam Příloh

Příloha č. 1

Geologické vrty v okolí stavby: Obchodní centrum při ulici 17. Listopadu Ostrava – Poruba

Stanoviště A

Příloha č. 2

Zprávy z provádění pilot na stavbě Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower

Stanoviště B

Příloha č. 3

Geologické vrty v okolí stavby: Nové administrativní centrum IQ Ostrava a TIETO Tower

Stanoviště B

Příloha č. 4

Geologické vrty v okolí: FAST VŠB-TUOstrava

Stanoviště C

Příloha č. 5

Geologické vrty v okolí stavby: Revitalizace přednádražního prostoru Svinov II. etapa

Stanoviště D